

ТЕХНОЛОГИЯ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ



ББК 39.53

Т38

УДК 629.735.33.002 (07)

Авторы: А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов, В. П. Григорьев, И. А. Зернов, П. Ф. Чударев, А. И. Ярковец

Рецензенты: д-р техн. наук проф. П. Н. Беянин и кафедра «Технология производства летательных аппаратов» МЛТИ им. К. Э. Циолковского.

M-920(77)

Технология самолетостроения: Учебник для авиационных вузов/А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др.. Под ред. А. Л. Абибова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1982. — 551 с., ил.

В пер.: 1 р. 60 к.

Т $\frac{3606030000-212}{038(01)-82}$ 212-82

ББК 39.53
6Т.51

Второе издание учебника написано в соответствии с программой курса «Технология самолетостроения» для самолетостроительных специальностей авиационных вузов. Этот курс отличается прикладным характером и многообразием охватываемых им вопросов. Он обобщает большой фактический материал и связывает многие теоретические дисциплины, изучаемые в авиационных вузах, с практической деятельностью инженера-самолетостроителя.

В основу настоящего учебника положен коллективный опыт кафедры «Технология производства летательных аппаратов» Московского авиационного института по преподаванию курса «Технология самолетостроения», в котором особое внимание уделяется наиболее общим закономерностям технологии и технологическим решениям.

Первой попыткой систематического изложения основ самолетостроительного производства явился труд коллектива авторов «Основы производства самолетов» под редакцией профессора В. Ф. Боброва (1937 г.), сыгравший большую роль в деле подготовки советских авиационных специалистов. В дальнейшем в различные годы были изданы несколько учебных пособий по курсу «Технология самолетостроения» и его отдельным разделам, принадлежавшие перу профессоров В. Ф. Юргенса, М. И. Разумихина, П. П. Успасского, П. Ф. Чударева, В. В. Бойцова, И. А. Зернова, В. П. Григорьева, доцента Л. А. Конорова и др. В 1970 г. вышел в свет первый учебник по полному курсу «Технология самолетостроения» профессоров А. Л. Абибова, Н. М. Бирюкова, В. В. Бойцова, В. П. Григорьева, И. А. Зернова, С. В. Елисеева, П. Ф. Чударева, доцента Л. А. Конорова под редакцией профессора А. Л. Абибова.

В настоящем издании авторы стремились возможно полнее отразить изменения, происшедшие в самолетостроении, достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области технологии и технологических факторов создания новой авиационной техники и организации ее серийного производства.

При написании учебника учитывалось, что в соответствии с учебными планами авиационных вузов студенты до изучения данного курса получают комплекс необходимых знаний по общей технологии машиностроения, допускам и техническим измерениям, сопротивлению материалов, конструкционным материалам, теории резания, станкам и инструменту.

В учебнике систематически изложены основы технологии производства самолетов и вертолетов, рассмотрены технологические процессы изготовления деталей из листов, поковок, штамповок, керамики и металлокерамики, конструктивных элементов из новых композиционных материалов, а также процессы сборки, монтажа и испытания типовых узлов, отсеков, агрегатов и самолета (вертолета) в целом. При изложении основных процессов даются их теоретические и физические основы, приводится последовательность выполнения операций, методы оценки технико-экономической эффективности, а в определенных случаях и расчеты технологических параметров, типовое оборудование и инструмент. Специальная глава посвящена основам технологической подготовки серийного производства.

При рассмотрении технологических процессов авторы стремились обратить особое внимание на технологичность проектируемого самолета и вертолета, технологические методы обеспечения высокого качества и надежности изготовления деталей и монтажно-сборочных работ, а также на способы их механизации и автоматизации.

По сравнению с первым изданием в учебник внесены уточнения и дополнения, объединены некоторые главы, отдельные главы написаны заново; добавлен новый материал по проектированию технологических процессов с использованием ЭВМ.

Учебник представляет коллективный труд профессоров А. Л. Абибова (гл. 8, 14, 15, 18), Н. М. Бирюкова (гл. 7, 10), В. В. Бойцова (гл. 20, 21, 22, 24), |В. П. Григорьева| (гл. 12, 13, 17), И. А. Зернова (гл. 3, 9, 23), доцента В. В. Павлова (гл. 19), профессоров П. Ф. Чударева (гл. 1, 5, 6, 11), А. И. Яковца (гл. 2, 4, 16).

Авторы выражают благодарность коллективу кафедры «Технология производства летательных аппаратов» МАТИ и профессорам П. Н. Белянину, В. Н. Крысину, О. С. Сироткину, доцентам В. Б. Юдаеву, В. С. Петушкову, Г. А. Молодцову и инженеру А. П. Роганкову за ценные замечания при просмотре рукописи и за помощь при подготовке ее к изданию.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ

Глава 1

ОСОБЕННОСТИ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ САМОЛЕТА И САМОЛЕТОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Особенности самолетостроительного производства в первую очередь зависят от габаритных размеров самолета, его назначения и тактико-технических требований к нему. Обычно самолет представляет собой планер и размещенные в нем органы взлета и посадки (шасси), двигатель (двигатели), системы управления самолетом и другие специальные механизмы и приборы.

Многие из механизмов и приборов самолета представляют сложные устройства, значительно отличающиеся друг от друга по конструкции, техническим требованиям к ним и процессам их изготовления, что требует известной специализации конструкторов, технологов и рабочих. Поэтому такие устройства самолета, как двигатели, специальные механизмы и приборы, проектируют и изготавливают на специализированных предприятиях авиационной промышленности, радиопромышленности и др.

Среди других изделий машиностроения самолет как объект производства обладает рядом специфических особенностей.

Большая номенклатура и многодетальность планера. Современный самолет насыщен различным оборудованием, приборами и механизмами. Количество деталей в конструкции планера крупного самолета (не считая нормалей) достигает ста тысяч единиц и более. Специальные приборы и механизмы исчисляются сотнями. Эта особенность самолета влечет за собой необходимость применения многочисленных и разнообразных технологических процессов, специальной оснастки, усложняет планирование, контроль и учет незавершенного производства.

Одним из мероприятий, которое позволяет значительно сократить количество деталей, является применение в конструкции планера монолитных (литых, штампованных и прессованных) узлов и панелей взамен сборных.

Большая номенклатура используемых материалов. В настоящее время примерно 70 % общего количества деталей пассажирского самолета изготавливается из легких сплавов различных марок, 25 % из легированных сталей и остальная часть - из пластмасс, резины, тканей, керамических и металлокерамических материалов.

Переход к сверхзвуковым скоростям и большим высотам полета самолета, повышение требований к его надежности с учетом условий его работы при низких и высоких температурах вызывает необходимость применения новых материалов, например, жаропрочных сталей и титановых сплавов, что приводит к дальнейшему расширению номенклатуры используемых в самолетостроении материалов. Многие из этих материалов трудно поддаются обработке обычными методами, поэтому для изготовления деталей из таких материалов разрабатывают новые технологические процессы.

Сложность пространственных форм. Значительные габаритные размеры и малая из-за ограничения массы жесткость большинства элементов конструкции планера (зализы, капоты, законцовки крыльев и др.) обусловили необходимость разработки специальных процессов их изготовления, характерных только для самолетостроения (обработка на специальных и специализированных копировально-фрезерных и гибочных станках, на обтяжных прессах и т. д.). Производство самолетов усложняется также и тем, что размеры деталей планера изменяются от нескольких миллиметров (крепёжные детали) до десятков метров (стрингеры, полки лонжеронов, листы обшивки, монолитные панели, монолитные шпангоуты, рамы и т. д.). При этом большинство деталей значительных габаритных размеров обладает малой жесткостью, что создает трудности получения точных размеров в процессе сборки из них узлов и агрегатов. Именно этими особенностями обусловлено применение в самолетостроении многочисленных сборочных, монтажных и других приспособлений и специальных технологических методов обеспечения взаимозаменяемости узлов, панелей и агрегатов.

Большая трудоемкость монтажно-сборочных, регулировочных и испытательных работ. Она составляет до 50 % общей трудоемкости при изготовлении современного самолета.

К особенностям сборочных процессов следует отнести также применение в планере большого числа разнообразных по конструкции неразъемных соединений с помощью клепки, сварки, пайки, склейки, запрессовки, развальцовки и т. п. Для выполнения таких соединений используют специализированное оборудование: скобы, прессы и автоматы для групповой клепки, машины для электроконтактной сварки, автоматы для дуговой электросварки в среде защитных газов и в вакууме, специальные станки и приспособления для изготовления сотовых конструкций, отсеков и панелей из пластмасс, керамики, металлокерамики, волокнистых композиционных материалов и т. д. Для герметизации отсеков в агрегатах самолета применяют специальные герметики и специальное оборудование.

■ Особенности монтажно-регулирующих и контрольно-испытательных процессов в самолетостроении обусловлены наличием на самолете разнообразных систем и жесткими требованиями

в их надежности — безотказному функционированию. Многие из этих систем подвергаются многократным испытаниям и регулированию, как автономной, так и комплексной обработке, для чего необходимы специальные стенды и установки.

Высокие требования к качеству самолета в целом и его отдельным элементам. Качество самолета как объекта производства представляет собой комплекс его тактико-технических характеристик и показателей, характеризующих надежность его в эксплуатации. Чтобы удовлетворить требованиям, предъявляемым в самолете, необходимы не только рациональная его конструкция в проекте, но и возможность осуществления этой конструкции в производстве с заданной степенью точности. Например, к поверхностям самолета, обтекаемым воздушным потоком, предъявляются высокие требования не только чистоты (гладкости), но и точности. Допуски на внешние обводы в ряде случаев составляют десятые доли миллиметра, а на стыковые поверхности соответствуют 3-му, а в отдельных случаях 2-му классу точности.

Повышение требований к эксплуатационной надежности самолета привело к разработке высокоресурсных соединений, процессов, инструмента и оборудования для их выполнения.

Приведенные особенности самолета как объекта производства объясняют следующие характерные особенности самолетостроительного производства.

Широкое кооперирование производства. В самолетостроении применяется большое количество специальных материалов, полуфабрикатов, заготовок, а также приборов и агрегатов для электрических, гидравлических, пневматических и других систем самолета, изготавливаемых на специализированных предприятиях. Кроме того, используется большое количество стандартных крепежных деталей и универсального инструмента, которые изготовляют также специализированные предприятия. Все это обусловило необходимость кооперирования предприятий, производящих самолеты, с предприятиями-смежниками. Развитие отечественного самолетостроения сопровождается непрерывным расширением кооперирования производства с тенденцией изготовления частей планера на специальных заводах.

Частая смена объектов производства. Непрерывное повышение тактико-технических требований к самолетам вызывает необходимость их совершенствования на базе новейших достижений науки и техники. В силу этого запущенные в производство самолеты быстро морально стареют и заменяются образцами более совершенной конструкции. В связи с этим непрерывно модернизируется — совершенствуется материально-техническая база — специфическое оснащение самолетостроительного производства.

Большой объем работ по подготовке производства. Современный скоростной самолет представляет собой исключительно сложный объект производства. Трудоемкость его изготовления измеряется сотнями тысяч человеко-часов. Подстылка к запуску

такого самолета в серийное производство является весьма сложной и трудоемкой задачей.

Технологическую и организационную подготовку серийного производства в целях сокращения сроков ведут последовательно-параллельным методом. По этому методу в соответствии с принятыми организационными формами производства и структурой самолета, параллельно и с некоторым сдвигом во времени ведется техническая отработка чертежей, проектирование технологических процессов, конструирование, изготовление и освоение оснастки. В результате значительно сокращаются сроки подготовки серийного производства самолетов.

§ 2. СТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ, ЕГО ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС, ОБЪЕМ И ПРОГРАММА ВЫПУСКА САМОЛЕТОВ

Любое самолетостроительное предприятие независимо от объема производства включает три группы подразделений: а) подразделения, перерабатывающие исходные материалы в продукцию предприятия. Эту группу называют *основным производством* предприятия; б) подразделения, изготавливающие изделия, необходимые для производства продукции предприятия. Эту группу называют *вспомогательным производством* предприятия; в) подразделения, обеспечивающие функционирование подразделений

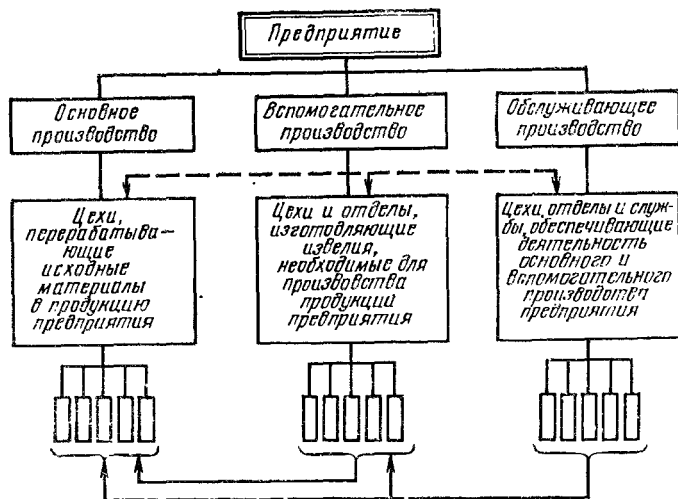


Рис. 1.1. Производственная структура самолетостроительного предприятия: штриховая линия со стрелками — функциональная зависимость структуры вспомогательного и обслуживающего производств от структуры основного производства; сплошные линии со стрелками — зависимость производственной деятельности подразделений вспомогательного производства от потребностей основного производства и деятельности обслуживающего производства, от потребностей основного и вспомогательного производства

основного и вспомогательного производства. Эту группу называют *обслуживающим производством* предприятия.

На рис. 1.1 показана принципиальная схема производственной структуры самолетостроительного предприятия. В зависимости от структуры предприятия образуется и структура производственного процесса предприятия.

Производственный процесс предприятия — сложный комплекс первичных процессов основных, вспомогательных и обслуживающих подразделений предприятия, обеспечивающих своевременный выпуск заданной продукции.

Производственный процесс самолетостроительного предприятия подчинен одной цели — выпуску самолета (самолетов) определенного типа требуемого качества и в заданном количестве. Конкретный состав подразделений предприятия, а следовательно, и структура производственного процесса данного предприятия образуются в первую очередь в зависимости от технологического процесса изготовления запущенного в производство самолета.

Структура технологического процесса и особенно его технико-экономические показатели в большой степени зависят от объема производства и программы выпуска изделий.

Объем выпуска изделий — количество изделий определенных наименований, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых объединением, предприятием или его подразделением в течение планируемого времени (ГОСТ 14.004 —74).

§ 3. ПОНЯТИЯ О ТЕХНОЛОГИИ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ И ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИХ

Технология самолетостроения — область технологии машиностроения как науки о сущности процессов производства самолетов, о взаимной связи этих процессов и закономерностях их развития.

Создание такого сложного изделия, как самолет, представляло бы чрезвычайно трудную задачу, если бы в процессе эскизного и технического проектирования его не делили на законченные в конструктивном и технологическом смысле части.

В самолетостроении принято делить изделие на агрегаты, отсеки, узлы и детали, часто называемые сборными единицами.

На рис. 1.2 показана принципиальная схема деления в определенной последовательности планера самолета на части. В процессе разработки конструкции сначала производят деление планера на агрегаты, узлы и соединительные детали, входящие в планер, затем агрегаты делят на отсеки, узлы и соединительные детали, входящие в агрегаты. После этого отсеки делят на узлы и соединительные детали, входящие в отсеки, и наконец, узлы отсеков, агрегатов и планера — на составляющие их детали.

Очевидно, метод деления самолета на части будет определять и деление общего технологического процесса изготовления самолета на соответствующие составляющие.

Так, например, технологический процесс изготовления узла, входящего в планер, можно представить как самостоятельный, включающий процессы изготовления необходимых деталей, его сборки-монтажа и испытания-регулирования. Технологический процесс изготовления агрегата также можно рассматривать как самостоятельный, включающий процессы изготовления составляющих его частей и деталей и процессы сборки, монтажа, регулирования и испытания агрегата.

Все эти относительно самостоятельные технологические процессы изготовления частей планера и будут составлять общий технологический процесс изготовления планера с дополнением его процессами изготовления деталей, входящих непосредственно в планер, и процессами сборки-монтажа, регулирования и испытания самолета в целом.

В целях увязки технологических процессов изготовления частей самолета проектирование общего технологического процесса его изготовления производится в два этапа. На первом этапе проектирования разрабатывают директивные технологические материалы, включающие основные требования к изготавливаемым частям. На втором этапе разрабатывают подробные технологические процессы изготовления частей самолета в целом.

На рис. 1.3 представлена принципиальная схема преобразования исходных материалов в разнообразные по свойствам и назначению детали. При этом очередность изготовления деталей определяется последовательностью изготовления частей самолета. Как видно из рис. 1.3, а, в первую очередь необходимо изготовить детали для узлов, входящих в отсеки, во вторую очередь — для

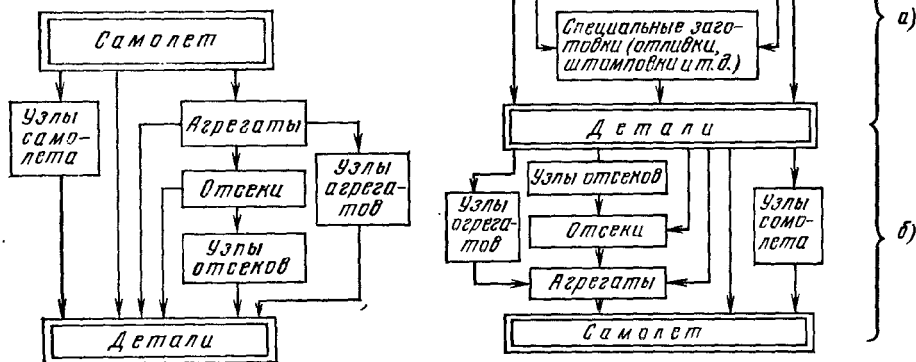


Рис. 1.2. Принципиальная схема деления самолета на составляющие части

Рис. 1.3. Принципиальная схема преобразования исходных материалов в планер самолета:

а — процессы изготовления деталей самолета; б — процессы сборки-монтажа и испытания-регулирования частей самолета в целом

узлов, входящих в агрегаты, и для отсеков, в третью очередь — для узлов, входящих непосредственно в планер самолета, и для агрегата и в последнюю очередь — детали, входящие непосредственно в планер самолета.

Во вторую очередь выполняются технологические процессы сборки, монтажа, испытания и регулирования частей самолета в определенной последовательности (рис. 1.3, б). Сначала собирают, монтируют, испытывают и регулируют узлы, входящие в отсеки, затем отсеки и узлы, входящие в агрегаты, и только после этого собирают, монтируют и регулируют агрегаты и узлы, входящие непосредственно в планер самолета.

Технологический процесс изготовления самолета завершается сборкой-монтажом его из агрегатов, узлов и соединительных деталей с последующим регулированием и испытанием.

Из этого следует, что изготовление деталей, сборка-монтаж и регулирование-испытание сборных единиц планера в целом диктуются структурой самолета, его рациональным членением — делением на составляющие его части.

Технологический процесс — часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства (ГОСТ 31109—73). Иначе говоря, технологический процесс изготовления самолета представляет собой сложный комплекс взаимодействий оборудования и исполнителей по преобразованию исходных материалов в самолет.

При анализе технологический процесс необходимо рассматривать в двух аспектах: в физическом и функциональном.

В первом аспекте рассматривается физическая сущность процесса — преобразование исходных материалов в изделие по отдельным, частным технологическим процессам.

Частный технологический процесс — часть технологического процесса, представляющая комплекс однородных по физико-химической сущности взаимодействий оборудования и исполнителей. Примерами частных технологических процессов могут служить такие процессы, как обработка резанием, деформирование, травление, термообработка, сварка и т. д. Разработка и осуществление частных технологических процессов производятся специалистами соответствующей квалификации, так как в основе каждого частного процесса лежит определенная физическая теория. Частный технологический процесс является необходимым элементом классификации технологических процессов.

Во втором аспекте рассматриваются функциональные связи и зависимости составляющих технологического процесса изготовления изделия. Наиболее крупной составляющей любого технологического процесса является технологическая операция.

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (ГОСТ 3.1109—73).

Степень деления технологического процесса на операции диктуется техническим уровнем, принятыми организационными формами и объемом производства. В зависимости от этих условий технологическая операция может состоять из одного или нескольких частных процессов. Например, обточка заготовки и обкатка роликами поверхности на токарном станке — операция из частных процессов, основанных на теории резания и теории пластических деформаций; вытяжка полой детали из листовой заготовки — операция из одного частного процесса, основанного на теории пластических деформаций, и т. д. При этом состав операции определяется технологом с учетом удобств и возможности непрерывного выполнения действий оборудованием и исполнителями соответствующей квалификации в определенный отрезок времени. Непрерывность чередования действий обуславливается взаимной связью и зависимостью их в пределах данной операции. Следовательно, технологическая операция представляет собой комплекс непрерывно чередующихся действий оборудования и исполнителей (операторов), обеспечивающих заданное изменение свойств предмета производства при изготовлении деталей и сборочных единиц в конкретных производственных условиях. Следует заметить, что одна и та же технологическая операция, разработанная несколькими технологами, в большинстве случаев имеет различное содержание, определяемое исполнителем — его навыками, опытом и квалификацией. Это обстоятельство не позволяет положить технологическую операцию в основу классификации технологических процессов.

Технологическая операция и частный технологический процесс могут состоять из одного или нескольких переходов.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке (ГОСТ 3.1109—73).

Для повышения производительности часто несколько переходов объединяют в один сложный (совмещение переходов). Для сложного перехода характерна одновременная обработка нескольких поверхностей заготовки. Переход, в свою очередь, может состоять из нескольких рабочих ходов.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением форм, размеров, чистоты поверхностей или свойств заготовки (ГОСТ 3.1109—73). Переход делят на рабочие ходы только в тех случаях, когда, например, весь слой материала, подлежащий удалению в данном переходе, нельзя снять за один раз. Все действия, составляющие технологическую операцию (частный технологический процесс), делятся на основные, направленные непосредственно на обработку, и вспомогательные, направленные на создание условий, необходимых для выполнения основных действий.

Вспомогательные действия заключаются в установке и закреплении предмета обработки на станке или на сборочном приспособлении, в пуске и остановке механизмов, в подводе и отводе инструмента, в переключении механизмов, в раскреплении и снятии изделия по окончании обработки или сборки и т. п. Деление операции (частного технологического процесса) на основные и вспомогательные действия необходимо для нормирования времени, необходимого для выполнения данной операции.

Характерными для любой технологической операции (частного технологического процесса) являются вспомогательные действия, связанные с установкой и закреплением предмета обработки, в результате которых фиксируется определенное его положение на станке или на другом оборудовании.

Операция (частный процесс) может включать вспомогательные действия, связанные с одной установкой и закреплением предмета обработки на оборудовании. В этом случае принято говорить, что операция выполняется за один установ. Но в операцию могут входить и несколько установок и закреплений предмета обработки. Выполнение действий, связанных с каждым установом и закреплением предмета обработки, в этом случае делит операцию на соответствующие части. Каждую такую часть технологической операции принято называть установом.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы (ГОСТ 3.1109--73).

Каждая новая установка предмета обработки требует дополнительного времени. Поэтому для заготовок, которые необходимо обрабатывать в разных положениях, применяют поворотные приспособления, позволяющие изменять положение заготовки относительно инструмента без ее открепления. Каждое новое положение заготовки на станке при одном ее закреплении называют позицией.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции (ГОСТ 3.1109—73).

Понятие о технологическом переходе, рабочем ходе и позиции характерны для заготовительно-обработочных процессов. В сборочных процессах некоторые из этих понятий (например, рабочий ход, позиция) не используются.

Программа выпуска изделий — перечень наименований изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска и срока выполнения по каждому наименованию (ГОСТ 14.004—74).

От объема и программы выпуска изделий зависит целесообразная величина первоначальных затрат на подготовку и освоение производства данного изделия. Очевидно, чем больше объем и программа выпуска изделий, тем большие первоначальные

затраты (на приобретение специального или специализированного оборудования и инструмента, на механизацию и автоматизацию процессов и т. д.) будут экономически оправданы. Увеличение первоначальных затрат обеспечивает более высокий технический уровень производства и способствует повышению технико-экономических показателей технологического процесса изготовления изделий.

§ 4. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА

В зависимости от объема производства и программы выпуска продукции различают три основных типа производства: массовое, серийное и единичное.

Массовое производство — характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени, и имеет следующие характерные признаки: а) детальная, тщательная разработка технологических процессов; б) на каждом рабочем месте выполняется только одна непрерывно повторяющаяся операция. Коэффициент закрепления операций — отношение числа всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест — равен 1; в) оборудование на производственном участке располагается в соответствии с последовательностью выполнения операций технологического процесса.

Расположение оборудования на участке в соответствии с последовательностью выполнения операций обеспечивает кратчайший путь межоперационной транспортировки предметов производства и упорядочивает их движение.

В массовом производстве широко применяют специальные станки, приспособления и инструмент, а также транспортирующие устройства для механического перемещения предметов обработки от одного рабочего места к другому. В поточную линию включают оборудование, выполняющее операции, различные по составляющим их частным процессам (обработка резанием, термическая обработка, контрольные испытания и т. п.).

Выполнение только одной операции на каждом рабочем месте поточной линии возможно при большой программе выпуска изделий, когда время на выполнение операции равно такту или больше его.

Такт выпуска — интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определенного наименования, типоразмера или исполнения (ГОСТ 3.1109—73). Иначе говоря, такт τ представляет собой частное от деления календарного отрезка времени T на количество изделий n , выпускаемых за это время:

$$\tau = T/n. \quad (1.1)$$

Невыполнение этого условия приводит к недопустимой нагрузке оборудования поточной линии.

Но, кроме того, что производственная программа поточно-массового производства должна быть большой, необходимо еще, чтобы она была устойчивой, т. е. не изменяющейся в течение длительного времени. Этому условию удовлетворяет большой объем выпуска изделий.

При этих условиях первоначальные затраты на приобретение или изготовление специальных станков, приспособлений и инструментов, на механизацию межоперационной транспортировки, на размещение оборудования и т. д. вполне себя оправдывают.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска изделий, и имеет следующие характерные признаки: а) пооперационная разработка технологических процессов; б) на каждом рабочем месте выполняется несколько периодически повторяющихся операций; в) оборудование на производственном участке располагается в соответствии с последовательностью выполнения этапов технологического процесса по группам операций (операции предварительной черновой обработки, операции чистовой обработки и операции окончательной, отделочной обработки).

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство. Коэффициент закрепления операций в соответствии с ГОСТ 3.1108—74 принимают равным:

для мелкосерийного производства свыше 20 до 40 включительно;

для среднесерийного производства свыше 10 до 20 включительно;

для крупносерийного производства свыше 1 до 10 включительно.

Так как программа выпуска изделий и объем серийного производства относительно малы, производственный участок создают для обработки нескольких предметов, сходственных по размерам, конфигурации, материалу, а следовательно, и по процессу их изготовления. Это позволяет уменьшить разнообразие оборудования на участке и полнее его загрузить.

Выполнение нескольких операций на одном оборудовании требует его переналадки, поэтому в серийном производстве детали изготавливают партиями.

Производственная партия — группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени (ГОСТ 3.1109—73).

По окончании обработки одной партии заготовок оборудование переналаживают на другую операцию. Продолжительность работы оборудования между переналадками определяется количеством деталей в производственной партии и трудоемкостью операции.

Существует несколько методов определения рационального размера партии деталей. Наиболее распространенным из них является метод расчета минимального размера производственной партии с точки зрения экономически рационального использования оборудования:

$$n = \frac{T_{п.з}}{\alpha T_{шт}}, \quad (1.2)$$

где n — количество заготовок в партии; $T_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время на переналадку станка по наиболее сложной операции; α — коэффициент, учитывающий потери времени (от 0,03 до 0,1), обычно принимаемый равным 0,05; $T_{шт}$ — штучное время на выполнение наиболее сложной операции.

Количество переналадок $H_{п}$ определяется по формуле

$$H_{п} = \frac{N_{г}}{n}, \quad (1.3)$$

где $N_{г}$ — годовая программа выпуска деталей.

В серийном производстве используются рабочие преимущественно средней квалификации и применяется в основном универсальное оборудование, что объясняется необходимостью переналадок. В отдельных случаях с целью повышения производительности универсальное оборудование оснащают специальными приспособлениями. С увеличением количества изделий в серии расширяются возможности применения не только специальных приспособлений и инструмента, но и специальных станков.

В отличие от массового серийное производство имеет значительно больший объем незавершенного производства и более длительный производственный цикл. При этом существенно усложняются планирование и учет производства.

Вследствие частых переналадок оборудования и ограничения возможностей применения высокопроизводительных специальных приспособлений и станков себестоимость изделий в серийном производстве выше, чем в поточно-массовом. В связи с этим приобретают большое значение мероприятия по использованию методов поточности в серийном производстве.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий (ГОСТ 14.004—74). Характерными признаками этого производства являются следующие: а) укрупненная разработка технологических процессов; б) на каждом рабочем месте выполняются разнообразные операции без периодического их повторения; в) оборудование на производственном участке располагается группами по типам станков.

Производственный участок единичного производства охватывает весьма широкую номенклатуру разнообразных деталей, каждая из которых изготавливается в единицах экземпляров. Поэтому в единичном производстве широко применяют универсальные станки, приспособления, инструмент и используют рабочих высокой квалификации. Себестоимость изделия высокая.

Опытное производство характеризуется выпуском образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или разработок конструкторской и технологической документации для установившегося производства (ГОСТ 14.004—74).

По характерным признакам оно близко к единичному производству, но отличается от последнего более подробной разработкой и применением более совершенных технологических процессов с учетом изготовления изделия в серийном производстве.

Глава 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА САМОЛЕТА КАК ОБЪЕКТА ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

§ 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КАЧЕСТВЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

ГОСТ 15467—79 определяет понятие «качество продукции» как совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением данной продукции.

Предварительная оценка качества проектируемого или уже эксплуатируемого изделия возможна по одному или нескольким главным для данного изделия свойствам.

При анализе качества изделий используется восемь групп показателей качества *;

показатели назначения определяют способность изделий выполнить заданные функции в соответствии с современным уровнем науки и техники;

показатели надежности характеризуют способность изделия выполнять поставленную задачу в течение заданного срока и при соблюдении заданных параметров;

показатели технологичности определяют степень совершенства конструкции изделия с точки зрения требований производства (см. гл. 23);

* Методика оценки уровня качества промышленной продукции. М.: Госстандарт СССР, ВНИИС, ВНИИНМАШ, 1972.

экономические показатели характеризуют затраты на проектирование и производство изделия, определяют экономическую эффективность его в эксплуатации;

эргономические показатели определяют степень совершенства системы человек — машина — среда. К ним относятся гигиенические, психофизиологические, антропологические показатели. Они характеризуют температуру, освещенность, влажность и уровень шума в аппарате, величину усилий для управления, размеры кресел, быстроту и количество показаний приборов, воздействие аппарата на окружающую среду;

показатели стандартизации и унификации показывают степень использования в конструкции изделия стандартных и унифицированных готовых изделий, сборочных единиц, крепежа, материалов (см. гл. 23);

эстетические показатели выражают совершенство и гармоничность цвета и форм изделий, соответствие внешнего вида и внутренней отделки современным стилю, моде и взглядам на красоту;

патентно-правовые показатели определяют патентную чистоту изделий и защищенность авторскими свидетельствами решений, использованных в его конструкции.

Наиболее существенное влияние технология оказывает на показатели назначения, надежности, технологичности и экономические.

Схема формирования качества самолета как сложной технической системы показана на рис. 2.1.

Заданный уровень качества закладывается при проектировании изделия, реализуется при его изготовлении и поддерживается при эксплуатации.

Повышение качества технологического оборудования равноценно увеличению объема их выпуска. Так, применение одного станка с ЧПУ заменяет до десяти станков с ручным управлением.

Следует учитывать, что повышение качества почти всегда сопровождается дополнительными затратами труда, материалов и средств. Величина получаемого эффекта должна быть больше затрат, которые требуется осуществить для его получения

$$\mathcal{E} > \mathcal{Z}_{\text{доп}}, \quad (2.1)$$

где \mathcal{E} — общий эффект от повышения качества; $\mathcal{Z}_{\text{доп}}$ — величина дополнительных затрат на повышение качества.

Под управлением качеством продукции понимается осуществление комплекса конструкторских, технологических, организационных, социальных и других мероприятий, обеспечивающих получение продукции высокого качества.

Такой комплекс мероприятий получил название системы управления качеством. Она является частью (подсистемой) системы управления производством.

В промышленности используется ряд систем управления качеством.

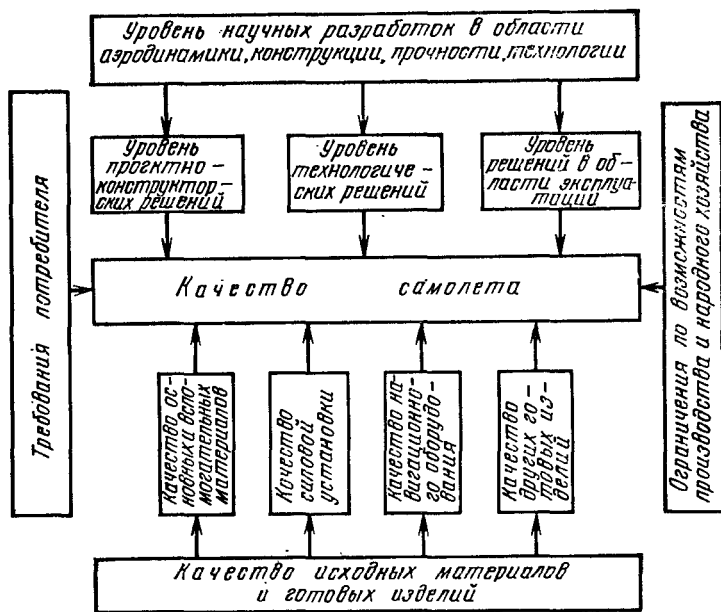


Рис. 2.1. Схема формирования качества самолета

Общими принципами для них являются:

наличие комплекса взаимосвязанных между собой мероприятий, обеспечивающих получение изделий заданного качества;

наличие связи со средой, в которой действует система. Эти связи учитывают новейшие достижения науки и техники, особенности коллектива, в котором она действует, характер оснащения производства оборудованием и приборами;

любая рассматриваемая система является подсистемой низшего порядка. Так, система управления качеством в пределах цеха является низшей относительно системы управления качеством в пределах завода;

каждая из систем имеет в своем составе элементы, обеспечивающие ее устойчивую работу. Такими элементами, в частности, является система поощрительных и наказующих мероприятий.

В самолетостроении наиболее широко используется Саратовская и Горьковская системы управления качеством. Горьковская система управления качеством стала применяться в конце пятидесятых годов на ряде горьковских предприятий. Она называется также системой КАНАРСПИ. Свое название она получила от первых букв слов: качество, надежность, ресурс — с первых изделий. Укрупненная структура системы показана на рис. 2.2.

Система охватывает этапы проектирования, изготовления и эксплуатации. Задачей системы является недопущение в серийное производство недоработанных изделий с низкой надежностью.



Рис. 2.2. Укрупненная схема системы КАНАРСПИ

вые увязываются в единое целое все факторы, определяющие качество. Комплексные системы управления качеством (КСУКП) являются основным направлением в дальнейшем совершенствовании управления качеством. В нашей стране создана единая система аттестации качества продукции (ЕСАКП). По результатам аттестации изделие может быть присвоен знак качества. Для промышленных изделий он присваивается на три года, а для товаров народного потребления — на два года.

Количественная оценка качества продукции проводится при помощи единичных, комплексных, интегральных и базовых показателей.

Единичный показатель оценивает какое-либо одно, самое важное в конкретных условиях свойство изделия. Таким показателем может быть величина усилия пресса, число мест для пассажиров на самолете и т. п.

Комплексный показатель оценивает группу свойств изделия. Например, относительная масса конструкции m_k самолета:

$$\bar{m}_k = \frac{m_k}{m_0} \quad (2.2)$$

характеризует долю массы конструкции \bar{m}_k в общей взлетной массе m_0 самолета.

Интегральный показатель является особым видом комплексного. Интегральным показателем оценивается суммарный эффект от эксплуатации изделия и суммарные затраты на его изготовление.

При изготовлении опытных образцов производится серия исследований и испытаний, позволяющих устранить дефекты и доработать конструкцию.

Саратовская система (разработана в 1955 году) управления качеством также показала свою эффективность и получила широкое распространение.

Основным критерием оценки качества труда исполнителя является единый показатель: процент сдачи годовой продукции с первого предъявления.

Дальнейшим развитием систем управления качеством явилась Львовская система. В этой системе впер-

Так, для экономической оценки пассажирских и транспортных самолетов используется показатель себестоимости тонно-километра a :

$$a = \frac{A}{\Pi}, \quad (2.3)$$

где A — себестоимость летного часа; Π — часовая производительность полета.

Себестоимость тонно-километра является интегральным показателем его качества.

Базовым называется показатель, принятый за эталон при сравнении оценки качества нескольких изделий. Обычно за эталон берут показатель качества лучших зарубежных или отечественных образцов. Базовый показатель может быть единичным, комплексным, интегральным. Количественное определение уровня качества изделий одного назначения и класса производится дифференциальным, комплексным или смешанным методами.

При использовании дифференциального метода оценка качества производится по единичным показателям. Достоинства метода состоят в простоте расчетов и понимании результатов.

Уровень качества определяется по следующим двум формулам:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i0}}; \quad (2.4)$$

$$q_i = \frac{P_{i0}}{P_i}, \quad (2.5)$$

где q_i — относительный показатель уровня качества; P_i — единичный показатель качества контролируемого изделия; P_{i0} — единичный базовый показатель; i -й показатель.

В тех случаях, когда увеличение численного значения единичного показателя свидетельствует об улучшении качества, применяют формулу (2.4). Например, если за показатель приняты производительность, ресурс изделия, дальность полета, то их увеличение свидетельствует об улучшении качества.

В случае, когда качество улучшается с уменьшением численного значения показателя, применяют формулу (2.5). Например, уменьшение себестоимости свидетельствует об увеличении качества.

Для определения уровня качества по комплексному методу необходимо знать функциональную зависимость между обобщенным и единичными показателями качества, между ожидаемым эффектом от использования нового изделия и затратами на его изготовление.

Если такая зависимость неизвестна, то применяют метод «средневзвешенного».

В этом случае единичные показатели качества P_i выражаются в баллах и каждому из показателей присваивается некоторый

коэффициент весомости q_i , определяющий значимость этого показателя среди всей суммы принятых показателей

$$Q = \sum_{i=1}^n P_i q_i. \quad (2.6)$$

Смешанный метод применяют, когда невозможно оценить качество изделия дифференциальным и комплексным методами.

Например, применяя обобщенный показатель, мы не можем полно учесть эргономические, эстетические и патентно-правовые свойства изделия.

В этом случае все единичные показатели разбиваются на родственные группы и для каждой из них определяют комплексный показатель.

Те показатели, которые нельзя объединить в группы, используют как единичные. Полученные для каждой группы комплексные показатели и оставшиеся единичные рассматривают с помощью дифференциального метода.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО РЕСУРСА

Под *ресурсом* понимается число часов полета до предельного состояния, оговоренного в технической документации.

Величина ресурса в основном определяется усталостной прочностью конструкции.

Технология изготовления деталей и сборки узлов, агрегатов и систем самолетов оказывают важное, а часто и решающее влияние на усталостную прочность. Это влияние реализуется через изменение свойств и напряженно-деформированного состояния материала элементов конструкции, происходящее при их изготовлении, с помощью различных технологических процессов или при изменении режимов выполнения одного и того же технологического процесса.

При изготовлении деталей с помощью разных способов резания в местах обработки образуется поверхностный слой, отличный по своим свойствам от основного металла.

Глубина этого слоя зависит от свойств материала, вида и режимов обработки и колеблется от 0,05 мм до 0,6 мм, а иногда и больше ($5 \cdot 10^{-5}$ м и $6 \cdot 10^{-5}$ м соответственно).

Состояние поверхностного слоя характеризуется величиной и направлением неровностей, величиной и глубиной наклепа, величиной, знаком и глубиной залегания остаточных напряжений, химическим составом и структурой металла.

Практика показывает, что при хорошем качестве основного металла (отсутствие пустот, внутренних трещин и др.) усталостное разрушение металлических конструкций начинается с поверхностных слоев металла.

Поэтому состояние поверхностного слоя прямо влияет на усталостную прочность конструкции.

Неровность поверхности деталей характеризуется *волнистостью и шероховатостью*.

Волнистость препятствует плотному прилеганию соединяемых элементов конструкции друг к другу. В местах контакта происходит интенсивное истирание (износ) материала, вследствие чего именно с этих мест начинаются усталостные разрушения.

Шероховатость характеризует микрогеометрию поверхности и образуется как результат взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала. Величина шероховатости определяется видом (точение, фрезерование, шлифование и др.) и режимами (скорость, глубина резания и величина подачи) обработки и зависит существенно от жесткости системы станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД).

Особенно опасными с точки зрения усталостной прочности являются следы обработки, расположенные перпендикулярно направлению действия внешних усилий. В этом случае риска от обработки является концентратором напряжений, может стать местом возникновения трещины, приводящей к преждевременному разрушению конструкции.

Повышение чистоты поверхности, как правило, существенно увеличивает усталостную прочность конструкции. Особенно тщательно следует обрабатывать поверхности деталей из высокопрочных материалов (В95, 30ХГСНА и др.).

Упрочнение (наклеп) поверхностного слоя является следствием совместного воздействия упругопластических деформаций и местного нагрева, возникающих в зоне резания.

Механические характеристики (пределы упругости, текучести, прочности и твердости) наклепанного слоя выше, чем основного металла. Вместе с тем уменьшается его пластичность, повышается хрупкость.

Меняются и физические свойства металла поверхностного слоя по сравнению с основной его массой: увеличивается электрическое сопротивление, уменьшается магнитная проницаемость.

Наклеп поверхностного слоя характеризуется его величиной H_g , степенью K и глубиной h .

При обычных режимах резания глубина наклепа при обработке среднепрочных сталей и алюминиевых сплавов не превышает 0,1...0,2 мм. При большей глубине резания и больших подачах глубина наклепа достигает 0,5...1,0 мм.

Степень наклепа K определяется как отношение наибольшей величины наклепа $H_{г\max}$ поверхностного слоя к твердости $H_{г\text{осн}}$ основной массы металла:

$$K = \frac{H_{г\max}}{H_{г\text{осн}}} \quad (2.7)$$

Для обычных условий резания $K = 1,5...2,0$.

Чрезмерная величина наклепа может привести к разрушению поверхностного слоя, которое может послужить местом возникновения усталостной трещины.

Упрочнение поверхностного слоя, при котором сохраняются его пластические свойства, способствует повышению усталостной прочности конструкции.

Остаточные напряжения $\sigma_{ост}$, которые образуются в поверхностном слое, оказывают очень большое влияние на усталостную прочность.

Так, при внешних растягивающих нагрузках остаточные напряжения сжатия снижают суммарные напряжения в конструкции и тем повышают ее усталостную прочность.

Различают три рода остаточных напряжений: напряжения первого рода или микронапряжения, охватывающие области, соизмеримые по объему с размерами детали; напряжения второго рода или микронапряжения, распределяющиеся в объемах одного или нескольких зерен металла; напряжения третьего рода или субмикроскопические напряжения, проявляющие свои влияния в пределах атомной решетки.

Наибольшее влияние на усталостную прочность оказывают напряжения первого рода. Вместе с тем выбор варианта и режимов обработки оказывает наибольшее влияние на характер и величину именно микронапряжений.

На образование $\sigma_{ост}$ существенно влияют режимы обработки и геометрии инструмента, а также условия охлаждения при резании.

Величина остаточных напряжений часто соизмерима, а иногда и превосходит напряжения от внешних нагрузок, достигая напряжений предела прочности материала.

Так, при точении среднепрочной легированной стали они достигают 500...600 Па (50...60 кгс/мм²), алюминиевых сплавов — 150...200 Па (15...20 кгс/мм²).

Существенное влияние на измерение ресурса оказывают также режимы и виды процессов термической обработки, образования защитных покрытий, выполнения соединений, сборки узлов и агрегатов.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ

Одной из важнейших задач, решаемых при проектировании самолета, является создание конструкции минимальной массы.

Исследования показывают, что значительная доля экономии массы конструкции планера достигается благодаря рациональным технологическим решениям.

Особенно перспективным направлением в мероприятиях по снижению массы является создание конструкций из волокнистых композиционных материалов.

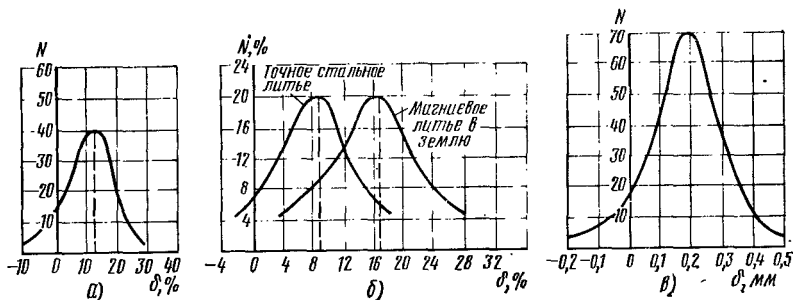


Рис. 2.3. Распределение отклонений по толщине деталей, полученных разными способами:

а — горячештапованных; б — литых; в — фрезерованных

Расчеты и проведенные эксперименты показывают, что даже частичная замена металлических конструкций на конструкции из волокнистых композиционных материалов в соответствии с современными возможностями может дать снижение массы планера на 10...25 %.

Важным направлением в создании конструкций минимальной массы является выбор рациональных по массе заготовок и полуфабрикатов.

Каждый из технологических процессов получения заготовки имеет определенные ограничения по точности и толщине стенок. Так, литьем в песчаную форму можно получить минимальную толщину стенки заготовки 2,5 мм, в оболочковую форму — 2,0 мм, а под давлением — 1,5 мм. При прочих равных условиях тяжелее будут заготовки, имеющие большую толщину стенок.

Величина штамповочных и литейных уклонов также влияет на массу конструкции. Большим уклонам соответствует большая масса заготовок и деталей.

Увеличение против номинала радиусов сопрягаемых элементов конструкции заготовки (штамповки, литья) и деталей при изготовлении их фрезерованием также приводит к увеличению их массы.

Особенно большие добавки массы конструкции образуются за счет больших плюсовых отклонений толщины деталей, полученных разными способами (рис. 2.3).

Смещение центра группирования в сторону большего размера объясняется стремлением предупредить появление неисправимого брака при обработке.

Изготовление деталей по верхнему пределу плюсового допуска гарантирует от появления неисправимого брака, но существенно увеличивает массу деталей и полуфабрикатов*.

* Вигдорчик С. А. Технологические основы проектирования и конструирования самолетов. Ч. II. Изд. МАИ, 1975. 130 с.

Статистика показывает, что только за счет выполнения деталей и полуфабрикатов по большим плюсовым допускам увеличивается их масса на 7 % против расчетной.

§ 4. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

Взаимозаменяемость и точность изготовления как показатели качества

В соответствии с ГОСТ 18831—73 *взаимозаменяемостью* называется свойство конструкции составной части изделия, обеспечивающее возможность ее применения вместо другой такой же части без дополнительной обработки с сохранением заданного качества изделия, в состав которого она входит.

Точностью какого-либо размера называется степень соответствия его действительного значения значению, заданному проектом.

Взаимозаменяемость и точность являются важнейшими показателями качества, относясь к группе показателей технологичности.

Взаимозаменяемость характеризует качество проектно-конструкторских и технологических решений, технологический уровень производства. Наличие взаимозаменяемости снижает трудоемкость изготовления за счет сокращения объема ручного труда при сборке и замене составных частей конструкции в эксплуатации.

Точность изготовления детали, сборки узлов и агрегатов оказывает влияние на летно-технические характеристики самолета (вертолета). Изготовление деталей с увеличением заданного размера приводит к переутяжелению конструкции (см. § 3), а с уменьшением нижезаданного допуска — к снижению ее прочности. Отклонение профиля крыла, стабилизатора, лопасти от заданной формы нарушает аэродинамические характеристики самолета (вертолета). Вместе с тем следует иметь в виду, что повышение точности изделия приводит к повышению трудоемкости его изготовления.

Точность увязки размеров между собой

Разность действительных и заданных величин размеров характеризует количественное значение точности и называется *производственной погрешностью* размера и обозначается знаком Δ^* .

Так, производственные погрешности Δ_A и Δ_B двух сопрягаемых деталей соответственно A и B определяются уравнениями

$$\Delta_A = A_{д} - A_{пр}; \quad \Delta_B = B_{пр} - B_{д}, \quad (2.8)$$

* Зернов И. А., Коноров Л. А. Теоретические основы технологии и процессы изготовления деталей. М.: Оборонгиз, 1960.

где A_d , B_d — действительные значения размеров A и B ; $A_{пр}$, $B_{пр}$ — значения размеров A и B , заданные проектом.

Следует иметь в виду, что точное изготовление деталей, узлов и агрегатов предусматривает не только точное выполнение линейных размеров, но также и точное выполнение заданной формы изделий.

Точное изготовление стыка (рис. 2.4) определяется значением размеров между осями элементов крепления (размеры L_A и L_B) и точностью изготовления элементов стыка (размеры l_{A1} , l_{B1} и l_{A2} , l_{B2}). Для этого важно обеспечить не только точность каждого из этих размеров, но и точное согласование их между собой. Согласование сопрягаемых размеров между собой называется их увязкой.

Точность взаимной увязки двух размеров A и B характеризуется степенью соответствия разности их истинных значений ($A_d - B_d$), разности этих размеров, заданных проектом ($A_{пр} - B_{пр}$). Модуль разности этих величин $|(A_d - B_d) - (A_{пр} - B_{пр})|$ определяет точность увязки и называется *производственной погрешностью увязки размеров* и обозначается знаком ∇ .

В соответствии со сказанным можно записать:

$$\begin{aligned} \nabla_{AB} &= |(A_d - B_d) - (A_{пр} - B_{пр})| \\ \text{или } \nabla_{AB} &= |(A_d - A_{пр}) - (B_d - B_{пр})|, \\ \text{но } A_d - A_{пр} &= \Delta_A, \text{ а } B_d - B_{пр} = \Delta_B, \\ \text{тогда } \nabla_{AB} &= |\Delta_A - \Delta_B|. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Отсюда следует, что точность увязки определяется не точностью каждого из размеров, а величиной разности этих погрешностей, т. е. согласованностью между собой и не очень точных размеров.

Поля (границы рассеяния) производственных погрешностей (δ) определяются их наибольшими и наименьшими значениями.

Методы увязки размеров

Образование конечного (истинного) размера и формы поверхности изделия является сложным многоэтапным процессом [31]. Он начинается с того, что конструктором на чертеже задаются размеры и формы поверхностей изделий в соответствии с их назначением.

Затем эти размеры и формы переносятся с помощью разного рода мерительных инструментов на приспособления и оборудование при его настройке и воспроизводятся в готовом изделии, выполненном с заданными размерами и формами. Мерительный инструмент проверяется по Государственному эталону.

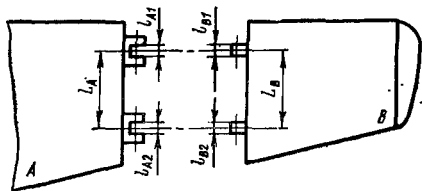


Рис. 2.4. Схема увязки стыка центра (A) и ОЧК (B)

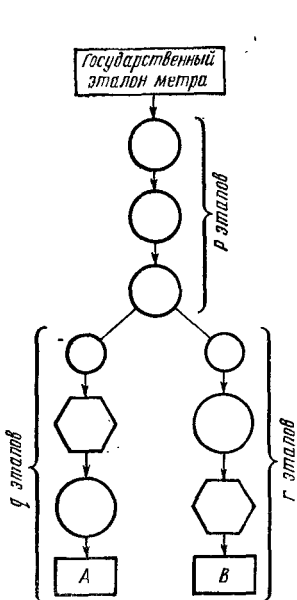


Рис. 2.5. Схема увязки по принципу связанного образования размеров и форм

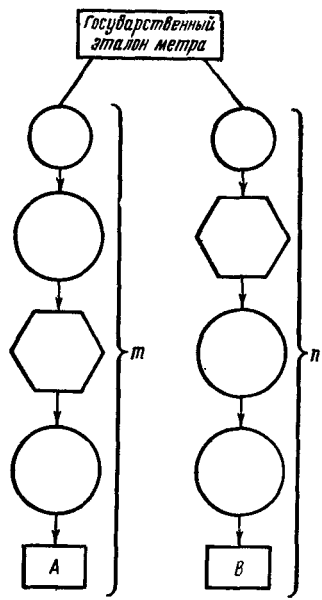


Рис. 2.6. Схема увязки по принципу независимого образования размеров и форм

Размер, которым начинается процесс переноса размера с чертежа изделия, называется *первичным*.

Размеры приспособлений, инструмента, оборудования, заготовки, которые возникают на промежуточных этапах получения конечного размера изделия, называются *технологическими размерами*.

В самолетостроении используются три метода увязки.

Схема увязки размеров *A* и *B* по принципу *связанного* образования форм и размеров показана на рис. 2.5. Схема имеет общие для обоих размеров этапы, число которых *P*. Каждая из ветвей образования конечного размера *A* и *B* имеет свое число этапов, обозначенное соответственно буквами *q* и *r*.

Поля производственных погрешностей каждого из размеров и увязки двух размеров между собой могут быть описаны следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 \delta_A &= \sum_{i=1}^P \delta_i + \sum_{j=1}^q \delta_j; \\
 \delta_B &= \sum_{i=1}^P \delta_i + \sum_{k=1}^r \delta_k; \\
 \delta_{AB} &= \sum_{j=1}^q \delta_j + \sum_{k=1}^r \delta_k,
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

где δ_A, δ_B — поля производственных погрешностей размеров A и B соответственно; δ_{AB} — поле производственной погрешности увязки размеров A и B ; $\delta_i, \delta_j, \delta_k$ — поля производственных погрешностей общих i и индивидуальных j и k этапов.

Таким образом, поля погрешностей каждого размера образуются путем суммирования погрешностей всех общих и индивидуальных для каждого размера этапов.

Поля погрешностей общих для обоих размеров этапов, как это видно из уравнений (2.10) схемы рис. 2.5, не влияют на точность увязки обоих размеров между собой.

Из уравнений (2.10) находятся условия, при которых точность увязки размеров A и B выше точности каждого из этих размеров

$$\begin{aligned} \delta_{AB} &\leq \delta_A, & \text{если} & \sum_{k=1}^r \delta_k \leq \sum_{i=1}^P \delta_i, \\ \delta_{AB} &\leq \delta_B, & \text{если} & \sum_{j=1}^k \delta_j \leq \sum_{i=1}^P \delta_i. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Таким образом, для того чтобы обеспечить высокую точность увязки размеров, необходимо все этапы, дающие большие погрешности в каждой из индивидуальных ветвей, перенести в общие для обоих размеров этапы. В этом случае погрешность увязки будет меньше погрешности каждого из размеров.

Воспроизведение размеров сопровождается обработкой поверхности, образующих заданную форму изделия.

Операции переноса формы на схеме рис. 2.5 показаны шестиугольниками, а размеров — кружками.

Основное достоинство рассмотренного метода состоит в том, что он позволяет обеспечить взаимозаменяемость изделий малой жесткости, сложной формы и больших габаритных размеров. Именно принцип связанного образования форм и размеров является теоретической основой плазово-шаблонного метода увязки заготовительной и сборочной оснастки, применяющегося в самолетостроении.

Увязка на основе принципа *независимого* образования размеров и форм изделий (рис. 2.6) не содержит общих этапов переноса каждого из размеров. В этом случае перенос размеров A и B осуществляется независимо друг от друга при разном в общем случае числе индивидуальных этапов ($m \neq n$). По аналогии с уравнением (2.10) поле погрешностей увязки без размеров A и B в этом случае запишется

$$\delta_{AB} = \sum_{j=1}^m \delta_j + \sum_{k=1}^n \delta_k, \quad (2.12)$$

где δ_j, δ_k — поле погрешностей j -го и k -го этапов переноса размеров A и B .

Увязка на основе принципа компенсации (рис. 2.7) состоит из одного этапа переноса размера с объекта A на объект B (рис. 2.7, а).

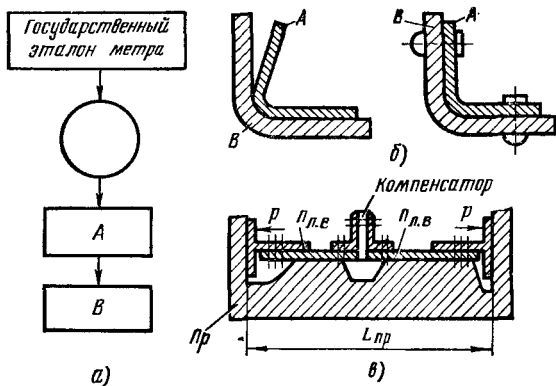


Рис. 2.7. Увязка размеров и сборка с использованием принципа компенсации:

а — схема увязки по принципу компенсации; б — сборка уголков по принципу компенсации с использованием деформации деталей; в — сборка лонжерона; Пр — приспособление; $П_{л.в}$ — верхний пояс лонжерона; $П_{л.н}$ — нижний пояс лонжерона

Поэтому погрешность увязки по этому принципу определяется погрешностью одного этапа

$$\delta_{AB} = \Delta_A = \Delta_B. \quad (2.13)$$

Практически увязка на основе принципа компенсации осуществляется или силовым замыканием (рис. 2.7, б), или заполнением зазора, возникшего при сборке между собираемыми элементами специальным компенсатором (рис. 2.7, в).

В качестве компенсаторов используются или твердеющие пасты, или металлические прокладки, после установки которых производится соединение верхнего $П_{л.в}$ и нижнего $П_{л.н}$ поясов лонжеронов.

Метод компенсации обеспечивает наибольшую точность увязки по сравнению с другими, так как содержит всего один этап переноса размеров. Увязка по принципу независимого образования размеров имеет меньшую по сравнению с двумя другими точность, так как содержит самое большое число индивидуальных этапов.

Базы изделий и их роль в обеспечении заданной точности

Образование размеров изделий описывают с помощью аппарата теории размерных цепей.

В соответствии с ГОСТ 16319—70 *размерной цепью* называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Отдельные размеры, составляющие размерную цепь, называются ее звеньями (рис. 2.8). L_1, L_2, L_3 — составляющие звенья, а $L_{зам}$ — замыкающее звено. Размер замыкающего звена получается автоматически в итоге решения поставленной задачи. Звенья L_1 и L_2 называются *уменьшающими*, с их увеличением уменьшается размер замыкающего звена. Звено L_3 называют *увеличивающим*, с его увеличением увеличивается размер замыкающего звена.

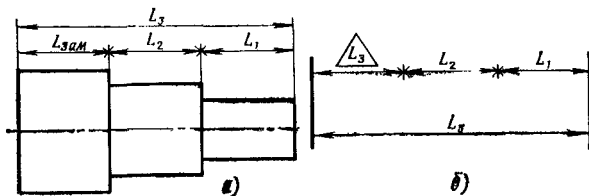


Рис. 2.8. Построение размерной цепи ступенчатого валика:
 а — схема простановки размеров; б — размерная цепь

Номинальные размеры всех звеньев размерной цепи описываются уравнением

$$L_{зам} = \sum_{i=1}^{m} L_{ув} - \sum_{k=1}^{n} L_{ум}, \quad (2.14)$$

где $L_{ув}$ и $L_{ум}$ — соответственно увеличивающие и уменьшающие звенья; m — общее число увеличивающих, а n — уменьшающих звеньев.

Это уравнение называется основным уравнением размерной цепи. На его основе составляются уравнения погрешностей размерной цепи и уравнения допусков на замыкающее звено. Решение размерных цепей сводится к расчету допусков на замыкающее звено.

Размерные цепи, с помощью которых решаются задачи обеспечения точности изделия в процессе его изготовления, называются технологическими. Очевидно, что чем длиннее размерная цепь, тем больше величина погрешностей, влияющих на точность образования размера замыкающего звена. На основе этого положения Б. С. Балакшин впервые сформулировал принцип кратчайшего пути. Этот принцип является важнейшим в создании технологических процессов высокой точности. Сущность этого принципа состоит в проектировании такого технологического процесса, который имеет самую короткую технологическую размерную цепь. Реализуется этот принцип путем правильного выбора баз.

В соответствии с ГОСТ 21395—76 базированием называется придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. Базирование осуществляется при проектировании заготовки, изделий и технологических процессов, их изготовления и сборки.

Базой называется поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхности, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

База, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или его ремонта, называется проектной.

По назначению базы подразделяются на конструкторские, технологические, измерительные и др.

Конструкторской называется база, определяющая положение детали или сборочной единицы в изделии.

Технологической называется база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

Измерительная база используется для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Технологическими называются базы в виде реальных поверхностей, используемые в процессе изготовления и сборки изделий для определения их положения относительно инструмента, друг относительно друга или в приспособлении.

Различают установочные, измерительные и сборочные технологические базы (далее просто «базы»).

Установочные базы определяют положение заготовки в приспособлении относительно инструмента.

Сборочными называются базы, определяющие положение детали в приспособлении относительно других деталей при сборке. Совокупность сборочных баз деталей образует сборочную базу узла или агрегата.

Расстояние между конструкторской и технологической базами называется *базисным размером*. При совмещении этих баз базисный размер равен нулю.

Производственная погрешность ΔA некоторого размера A образуется путем алгебраического суммирования погрешностей, возникающих на разных этапах обработки Δ_0 , и погрешности базисного размера $\Delta \delta$:

$$\Delta A = \Delta_0 - \Delta \delta. \quad (2.15)$$

По определению Л. А. Конова, базисный размер является неким мостом, соединяющим предыдущие операции с последующими. Это объясняется тем, что погрешности предыдущих операций входят в погрешности последующих в форме погрешности базисного размера.

При многооперационных процессах может произойти накопление погрешности базисного размера, и ее величина может быть значительной.

Совмещение конструкторской и технологической баз называется *правилом единства баз*. Проектирование технологических процессов с соблюдением этого правила делает размерную цепь более короткой, базисный размер равным нулю, позволяет существенно повысить точность изготовления деталей (рис. 2.9).

Деталь с отверстиями № 1 и № 2 (рис. 2.9, а) изготавливается из полосы (рис. 2.9, б).

При вырубке отверстия № 1 конструктивная база (поверхность $n - n$) одновременно является и технологической. В этом случае базисный размер равен нулю. Размерная цепь $PЦ_1$ — кратчайшая. Точность положения центра отверстия № 1 определится погрешностью $a_{ш}$ размера штампа $A_{ш}$.

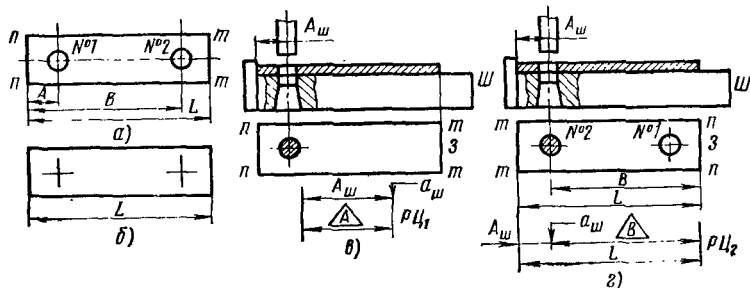


Рис. 2.9. Разные правила построения технологического процесса вырубki: а — деталь; б — заготовка; в — вырубка отверстия № 1 с соблюдением правила единства баз; г — вырубка отверстия № 2 без соблюдения правила единства баз; Ш — штамп; ○ — отверстие вырублено; ● — отверстие не вырублено; PЦ₁ и PЦ₂ — размерные цепи, соответствующие технологическим процессам, построенным соответственно с соблюдением и без соблюдения правила единства баз

При вырубке отверстия № 2 за установочную базу принимаем поверхность $m - m$. В этом случае конструктивная база (поверхность $n - n$) и технологическая база (поверхность $m - m$) не совпадают. Здесь нарушено правило единства баз. Размерная цепь $PЦ_2$ получает дополнительное звено в виде базисного размера L .

Источники и методы исследования производственных погрешностей

Производственные погрешности, образующиеся при выполнении технологического процесса, разделяются на систематические и случайные.

Систематическими называются погрешности, регулярно повторяющиеся при выполнении технологического процесса. Величину и знак этих погрешностей можно прогнозировать с высокой степенью точности.

Систематические погрешности бывают постоянными или переменными, закономерно-изменяющимися.

Случайными называются погрешности, возникновение которых заранее предсказать не представляется возможным.

При изготовлении деталей и сборке изделий образуются погрешности их размеров, форм, характеристик поверхностного слоя, массы и т. п.

Производственные погрешности размеров и формы изготовления деталей возникают вследствие неточности оборудования, приспособлений, инструмента, недостаточной жесткости системы станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД), колебаний физико-механических свойств материала, из которого изготавливаются или собираются изделия, температурных деформаций, неточностей настройки оборудования.

Расчет величины систематической производственной погрешности выполняется расчетно-аналитическим, а случайной — статистическим методом.

При использовании расчетно-аналитического метода необходимо знать зависимости между величиной погрешности и параметрами, ее определяющими. Так, погрешность диаметра вала при точении его в центрах определится расчетом вала как балки на двух опорах:

$$f = P_y l^3 / 48 E J, \quad (2.16)$$

где P_y — радиальная составляющая усилия резания; l — длина вала; EJ — жесткость вала.

Знание аналитических зависимостей образования погрешностей позволяет управлять процессом путем предварительной поднастройки станка на величину ожидаемой погрешности.

Случайные погрешности исследуются только статистическими методами. Суть этого метода состоит в том, что сначала собирается достаточно большой объем статистического материала о погрешностях, затем полученные данные обрабатываются методами математической статистики.

Многочисленные наблюдения показывают, что в большинстве случаев производственные погрешности Δ распределяются по нормальному закону (Гаусса).

Анализируя кривую распределения, можно внести необходимые коррективы в ход процесса. Данные кривой также используются при составлении нормативов точности процесса.

Поле рассеяния значений погрешностей принимаем равным 6σ при риске примерно 0,3 %.

При допуске

$$\delta \geq 6\sigma \quad (2.17)$$

и симметричном его расположении относительно середины поля рассеяния процесс будет выполняться без брака с риском примерно 0,3 %. Можно ожидать, что в этом случае размер изделия L , полученный при данных условиях, будет

$$L = L_{\text{сп}} + 3\sigma, \quad (2.18)$$

а результирующая погрешность по данному размеру будет

$$\Delta L = \pm 3\sigma. \quad (2.19)$$

§ 5. ПЛАЗОВО-ШАБЛОННЫЙ МЕТОД УВЯЗКИ ФОРМ И РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЙ

Сущность метода

Сущность метода состоит в использовании единой системы жестких носителей форм и размеров взаимно-сопрягаемых элементов конструкции для изготовления и геометрической увязки их

между собой (рис. 2.10). В основе этой единой системы лежит теоретический плаз агрегата самолета (вертолета).

По теоретическому плазу изготавливаются основные шаблоны, которые несут в себе всю необходимую информацию для изготовления производственных шаблонов, а по ним создаются приспособления для изготовления деталей и сборки изделий. Производственные шаблоны содержат в себе всю необходимую информацию для изготовления деталей, сборки узлов и агрегатов.

С помощью плазово-шаблонного метода производится увязка контуров плоских сечений каждого агрегата и меж-агрегатных стыков, деталей, лежащих в плоскости одного сечения, а также деталей бортовых систем самолета.

Увязка технологической оснастки, необходимой для изготовления деталей, входящих в размерные сечения агрегата, решается созданием комплекта взаимоувязанных шаблонов на агрегат. Узловой комплект шаблонов позволяет изготовить и увязать между собой сборочные приспособления для узлов, входящих в агрегат. В детальный комплект входят шаблоны, необходимые для изготовления отдельной детали.

Взаимозаменяемость по межагрегатным стыкам обеспечивается калибрами разъема (рис. 2.11). Калибры, воспроизводящие форму, размеры стыка и крепежных элементов на нем (в данном случае стык типа ухо-вилка) изготавливается по шаблонам, снятым с плаза, и чертежу стыка. Отдельно изготавливается калибр стыка центроплана (рис. 2.11, б) и отдельно — ОЧК (рис. 2.11, в). Затем оба калибра подгоняются друг к другу так, чтобы совпадали обводы и стыковочные элементы. Этот процесс называется *отстыковкой калибров разъема*.

Оснастка (шаблоны, приспособления) для другого завода, выпускающего ту же машину, изготавливается путем дублирования оснастки головного завода.

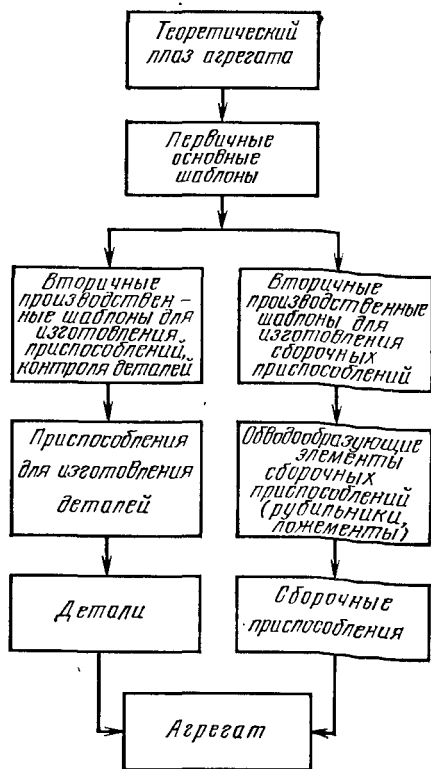


Рис. 2.10. Принципиальная схема увязки форм и размеров агрегатов при использовании плазово-шаблонного метода увязки

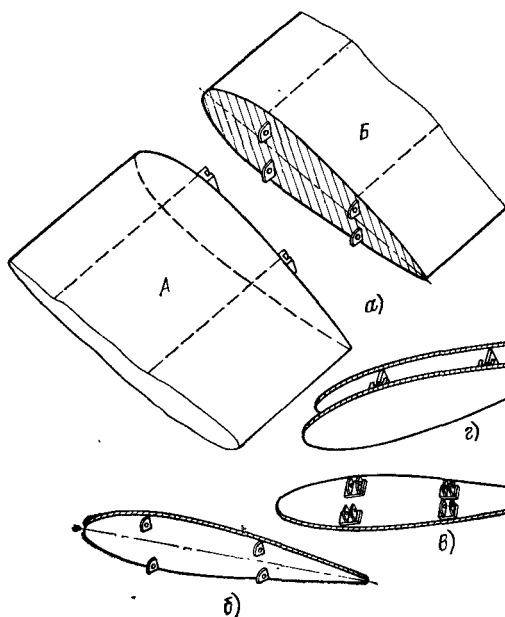


Рис. 2.11. Увязка
межагрегатного стыка
и ОЧК:

a — конструкция стыка;
б — калибр разреза центроплана *A*; *в* — калибр разреза ОЧК *B*; *г* — отстыкованные калибры разреза центроплана и ОЧК

Плазovo-шаблонный метод обладает и существенными недостатками:

высокая трудоемкость и недостаточная точность изготовления сборочных приспособлений и объемной оснастки;

длительный цикл изготовления сборочной и заготовительной оснастки вследствие необходимости изготовления плазов и шаблонов, по которым будет изготавливаться эта оснастка.

Теоретические плазы

Теоретическим плазом называют чертеж агрегата, выполненный в натуральную величину. На этом чертеже показываются теоретические контуры, отдельные сечения и конструктивные базы агрегата.

При вычерчивании теоретического плаза за координатные оси принимаются ось симметрии и строительная горизонталь (рис. 2.12). Плоскости, проведенные через них, называются соответственно *плоскостью симметрии (V)* и *плоскостью строительной горизонтали (H)*. Плоскость *P* называется *плоскостью нулевой дистанции*.

Теоретический плаз агрегата вычерчивается в трех проекциях, увязанных между собой в соответствии с правилами начертательной геометрии.

Плаз боковой проекции образуется как проекция теоретического контура на плоскость *V* симметрии самолета.

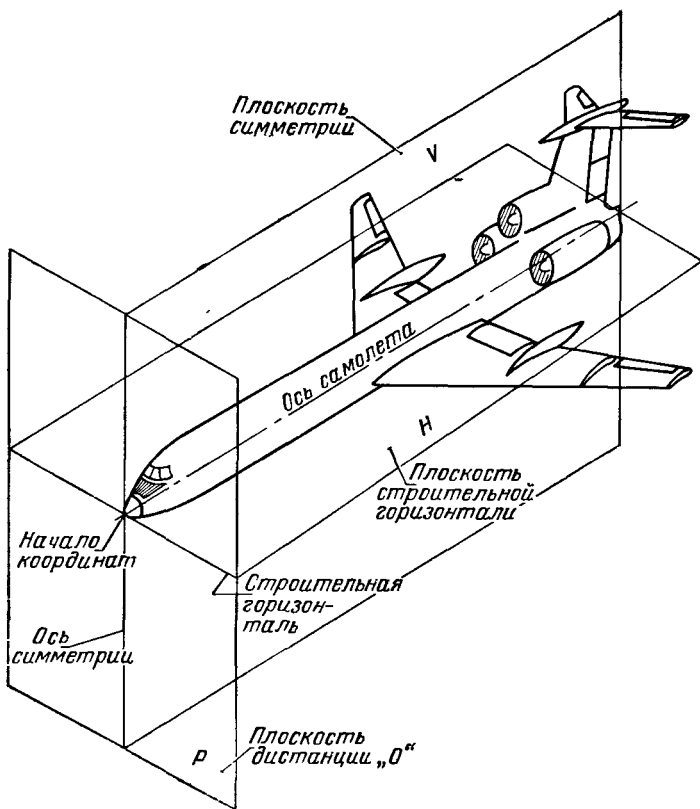


Рис. 2.12. Расположение основных координатных осей и плоскостей самолета

Плановая проекция образуется проектированием контуров на плоскость H строительной горизонтали.

Плаз совмещенных сечений образуется проектированием сечений теоретического контура на плоскость P нулевой дистанции.

В целях снижения трудоемкости и повышения точности плазовых работ принято на теоретическом плазе показывать в боковой и плановой проекциях только правый по направлению полета борт самолета. С этой же целью на левой части плаза совмещенных сечений показывают проекции сечений от носка до мидельского сечения, а на правой — от мидельского сечения до конца хвостовой части.

Методы задания и построения на плазе контуров агрегата самолета

Используются два метода задания и построения контуров агрегатов самолета: графический и аналитический.

Графический метод основан на увязке методами начертательной геометрии контуров агрегата по трем плазовым проекциям.

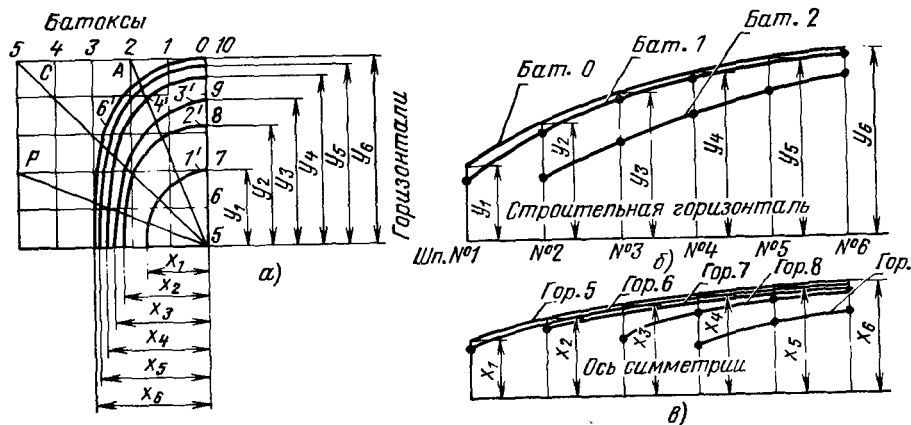


Рис. 2.13. Построение теоретического плаза агрегата методами батоксов и горизонталей:

а — плаз совмещенных сечений: б — боковая проекция; а — плановая проекция; 0, 1, 2, 3, 4, 5 — батоксы; 5, 6, 7, 8, 9, 10 — горизонтали; 1, 2, 3, 4, 5, 6 — шпангоуты

Этот метод также называется методом батоксов и горизонталей.

Аналитические методы объединяют способы задания и построения контуров кривыми второго порядка, степенными уравнениями, интерполяционным расчетом дискретно-заданных плоских кривых с представлением интерполирующей функции в виде полинома Ньютона 4-го порядка и др.

Метод батоксов и горизонталей позволяет увязать и построить контуры агрегатов с помощью ряда взаимно-перпендикулярных плоскостей, которые пересекают агрегат.

Вертикальные плоскости, параллельные плоскости симметрии самолета, называются *плоскостями батоксов*. Проекция линий пересечения этих плоскостей с поверхностью фюзеляжа на плоскость симметрии называется *линией батоксов* или просто *батоксом*. Плоскость симметрии образует линию нулевого батокса (Бат. 0). Все последующие плоскости батоксов проводятся на расстояниях, кратных 50 или 100 мм, влево или вправо от плоскости нулевого батокса. Номер батокса одновременно указывает и расстояние (дистанцию) от нулевого батокса (например Бат. 0,5, Бат. 1 означает, что эти плоскости отстоят от Бат. 0 соответственно на 50 и 100 мм).

Плоскости горизонталей параллельны плоскости строительной горизонтали и также располагаются на расстояниях, кратных 50 или 100 мм. Отсчет этих плоскостей идет вверх от нижней плоскости. Эта плоскость нумеруется как Гор. 0. Все последующие имеют порядковый номер, указывающий их расстояние (дистанцию) от Гор. 0.

Рассмотрим построение плаза агрегата этим методом (рис. 2.13). В случае, если координаты точек сечения заданы

таблицей по лучам, то построение начинают с плаза совмещенных сечений (рис. 2.13, а). На рисунке показано только несколько лучей A, C, \dots, P, \dots , по которым и откладываем координаты точек, взятые из таблицы по каждому из лучей и для каждого шангоута.

Затем с плаза совмещенных сечений снимаются и откладываются по осям шангоутов на боковой проекции (рис. 2.13, б) величины y_1, y_2, \dots, y_6 , определяющие расстояние от строительной горизонтали до точки, расположенной на каждом из шангоутов по оси симметрии.

На плановой проекции по осям шангоутов откладываются величины x_1, x_2, \dots, x_6 , определяющие расстояние от оси симметрии до точки контура (рис. 2.13, в).

По нанесенным точкам выкладывается гибкая рейка и по ней проводится линия всех контуров (шангоутов, батоксов и горизонталей).

Основным достоинством графического метода батоксов и горизонталей является его сравнительная простота и наглядность. Существенным недостатком его является высокая трудоемкость и недостаточная точность увязки.

Методом кривых второго порядка задаются и воспроизводятся на плазе контуры самолета, имеющие двойную кривизну.

Кривая контура может быть построена по координатам, полученным расчетом либо путем специального графического построения. Учитывая эту вторую возможность, этот метод иногда называют также и графоаналитическим.

Сущность метода состоит в том, что произвольная кривая, образующая поверхность агрегата, заменяется набором отрезков кривых второго порядка (эллипсов, гиперболы, параболы).

В большинстве случаев кривая второго порядка задается тремя точками и двумя касательными. Этим определяются пять условий, необходимых и достаточных для определения кривой. Обозначаются эти точки: крайняя левая — начальной, а крайняя правая — конечной. Точка между ними называется промежуточной. Касательные задаются в начальной и конечной точках (рис. 2.14). Обозначения этих точек показаны на рисунке.

Промежуточная точка E задается как точка пересечения медианы DB треугольника ABC с кривой.

Отношение величины отрезка DE к величине всей медианы DB называется *дискриминантом кривой второго порядка* и обозначается буквой f :

$$f = \frac{DE}{DB}. \quad (2.20)$$

Значение f определяет вид кривой. При $f < 0,5$ кривая является частью эллипса; при $f = 0,5$ — частью параболы, а при $f > 0,5$ — частью гиперболы. С ростом значения f увеличивается выпуклость кривой. Для обеспечения хорошей плавности кривых

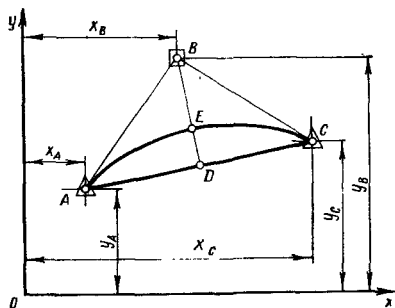


Рис. 2.14. Построение кривой второго порядка

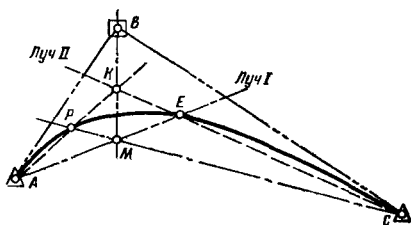


Рис. 2.15. Графическое построение промежуточных точек кривой

рекомендуется применять дискриминанты в пределах $0,3...0,7$ с шагом $0,005$ и $0,01$.

Аппроксимация заданной кривой кривыми второго порядка выполняется в следующем порядке. Заданная кривая разбивается на участки. На каждом из них описанным способом (заданием трех точек и двух касательных) строятся кривые второго порядка. При необходимости повышения точности совпадения кривой второго порядка с заданной число участков увеличивают.

Графическое построение кривой второго порядка выполняется следующим образом. По табличным данным строят точки A , B , C и E (рис. 2.15). Затем через точки A и E проводят луч I , а через C и E — луч II . Из точки B проводится произвольная прямая, которая пересечет луч I в точке M , а луч II — в точке K . Далее через точки M и C и точки A и K проводят прямые, которые пересекутся в точке P , лежащей на искомой кривой. Таким же образом отыскиваются другие точки искомой кривой.

В настоящее время создано большое число вариантов метода кривых второго порядка, разработаны другие методы аналитического и графоаналитического задания и воспроизведения контуров.

При наличии достаточно эффективных аналитических методов задания и увязки форм и размеров агрегатов самолетов можно будет полностью отказаться от плазово-шаблонного метода и перейти к независимым автоматизированным на базе ЭВМ методам увязки форм и размеров.

Основные шаблоны и конструктивные плазы

К основным относятся шаблон контрольно-контурный, сокращенно называемый ШКК, отпечаток контрольный (ОК) и конструктивный плаз.

ШКК изготавливают на плоские узлы типа нервюр, шпангоутов, лонжеронов. Контур ШКК точно воспроизводит теоретические обводы узла, а на одной из его плоскостей вычерчиваются контуры сечений деталей, лежащих в плоскости узла.

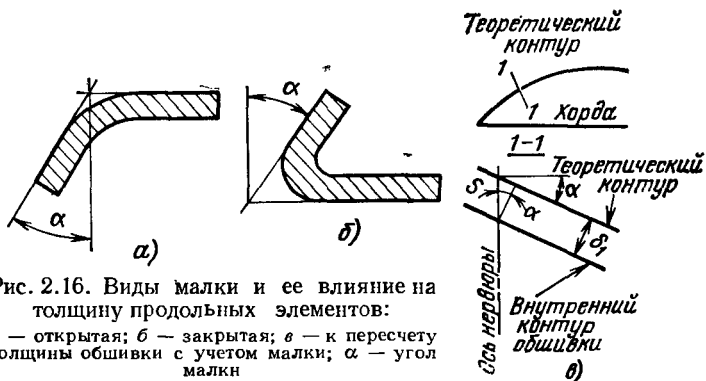


Рис. 2.16. Виды малки и ее влияние на толщину продольных элементов:
 а — открытая; б — закрытая; в — к пересчету толщины обшивки с учетом малки; α — угол малки

Шаблоны контрольно-контурные предназначены для: конструктивной и геометрической увязки деталей, расположенных в плоскости данного узла; изготовления и увязки шаблонов, необходимых для изготовления приспособлений;

изготовления и увязки узлового комплекта шаблонов, необходимого для изготовления деталей, составляющих данный узел.

Конструктивная и геометрическая увязка выполняется путем вычерчивания в натуральную величину сечения всех деталей, лежащих в плоскости данного узла.

ШКК изготавливаются по таблицам координат, теоретическому плазу (откуда снимается контур и переносятся оси) и чертежам узлов или агрегатов. Эти шаблоны окрашиваются в красный цвет и хранятся в плазовом цехе.

Конструктивный плаз (КП) полностью повторяет шаблон контрольно-контурный с той только разницей, что КП вычерчен целиком на прозрачном пластике винипрозе.

Как и ШКК, конструктивный плаз предназначен для конструктивной и геометрической увязки деталей, входящих в узел, воспроизведения контуров и контроля шаблонов.

При вычерчивании толщины продольных элементов следует учитывать величину *малки*. Под малкой понимают величину угла α отклонения от нормали к плоскости стенки (рис. 2.16). Толщина обшивки с учетом малки может быть подсчитана по формуле

$$S = \delta_1 / \cos \alpha \quad (2.21)$$

или определена по заранее подготовленным таблицам.

Применение КП предупреждает преждевременный износ и порчу ШКК и теоретического плаза при изготовлении шаблонов и их контроля.

Отпечаток контрольный (ОК) применяется для изготовления, увязки и контроля узлового и детального комплекта шаблонов. Он представляет копию КП и изготавливается из листовой стали методом фотокопирования.

Производственные шаблоны

Производственные шаблоны предназначены для изготовления приспособлений, оснастки и деталей. Изготавливаются они по ШКК, КП или ОК.

Номенклатура и назначение некоторых производственных шаблонов показаны в табл. 2.1.

Применяются и другие шаблоны [42]. Все производственные шаблоны окрашиваются в черный цвет и находятся в цехах.

Номенклатура детального комплекта шаблонов определяется ее конструкцией. На рис. 2.17 показана схема увязки шаблонов, необходимых для изготовления плоской детали с бортами типа носок нервюры. На схеме показаны размеры сечений контуров шаблонов, как они образуются и увязываются между собой. Размер 5,5 мм равен расстоянию между кромками шаблонов ШФ и ШРД, по которому изготавливается первый из этих шаблонов. При этом контуры обоих шаблонов эквидистантны.

Для снижения трудоемкости при вычерчивании плазов и разметки шаблонов применяются чертежные автоматы с программным управлением (координатографы). Эти устройства по заданной программе с большой скоростью вычерчивают теоретические и конструктивные плазы, размечают шаблоны.

Применяются автоматы с горизонтальным или вертикальным расположением стола.

Чаще всего управление координатографом автоматизируется по двум взаимно перпендикулярным осям. Таким образом, координатограф образует плоскую прямоугольную координатную систему.

Таблица 2.1

Краткая характеристика некоторых производственных шаблонов

Сокращенное обозначение шаблона	Название шаблона	Назначение шаблона
ШК	Шаблон контура	Изготовление и увязка шаблонов ШКК, ШРД, ШОК, ШВК и других приспособлений для контроля деталей
ШРД	Шаблон развертки детали	Изготовление шаблонов ШФ и ШГР, вырубных и вырезных штампов
ШВК	Шаблон внутреннего контура	Изготовление форм блоков и пуансонов и оправок для формовки, гибки и выколотки
ШОК	Шаблон обрезки и кондуктор для сверления	Обрезка, сверление и контроль формы сложных листовых и профильных деталей
ШКС	Шаблон контура сечения	Изготовление и контроль деталей, фасонных оправок для обтяжки и штамповки гипсомодели
ШМФ	Шаблон монтажно-фиксирующий	Для изготовления элементов и монтажа сборочных приспособлений

Рис. 2.17. Схема увязки комплекта шаблонов, необходимых для изготовления детали типа носок нервюры (l_6 — размер разогнутого борта)

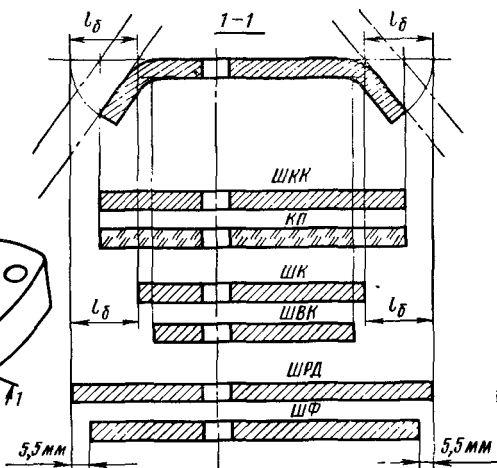
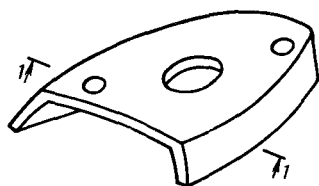
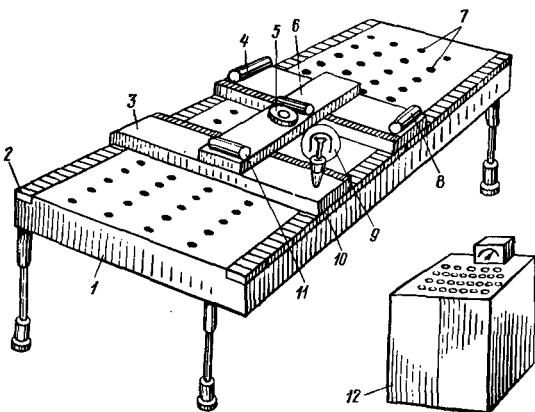


Схема устройства одного из видов координатографа показана на рис. 2.18. Он имеет чугунный стол 1, на который укладывается и крепится по базовым отверстиям 7 панель заготовки плаза или шаблона. По рейкам 2 перемещается портал 3 с помощью двигателей 4, 8, несущий на себе поперечную каретку 6 с чертежной головкой 5. С помощью оптического устройства 9 по линейке 10 производится визуальный отсчет положения портала. Перемещение поперечной каретки осуществляется двигателями 11. С помощью двигателей 4, 8, 11, которые управляются с пульта 12, чертежная головка может быть выставлена с точностью $\pm(0,05 \dots 0,1)$ мм в любую точку поверхности стола.

Программа записывается на магнитную ленту в виде сигналов, модулированных по фазе. Для типовых случаев разработаны стандартные программы.

Рис. 2.18. Координатограф:
1 — стол; 2 — рейка; 3 — портал; 4, 8 — двигатель перемещения портала; 5 — чертежная головка; 6 — поперечная каретка; 7 — базовые отверстия; 9 — оптическое устройство; 10 — линейка; 11 — двигатель перемещения каретки; 12 — пульт управления



Обработка контуров шаблонов на станках с программным управлением также существенно снижает трудоемкость и повышает точность их изготовления, особенно при автоматизации процессов программирования.

Методы и средства повышения точности объемной увязки

Увязка фасонных поверхностей деталей, образующих обводы крыла, фюзеляжа, оперения с помощью набора плоских шаблонов, не обеспечивает необходимой точности, требует больших затрат труда. Это объясняется малой точностью и высокой трудоемкостью взаимной ориентации набора плоских шаблонов, необходимого для изготовления сложных поверхностей обтяжных пуансонов, штампов, обводообразующих элементов сборочных приспособлений.

Задача повышения точности и снижения трудоемкости взаимной ориентации обводообразующих элементов сборочных приспособлений с помощью плоских шаблонов была решена путем создания плоских и пространственных координатных стенов, получивших названия соответственно плаз-кондукторов и инструментальных стенов.

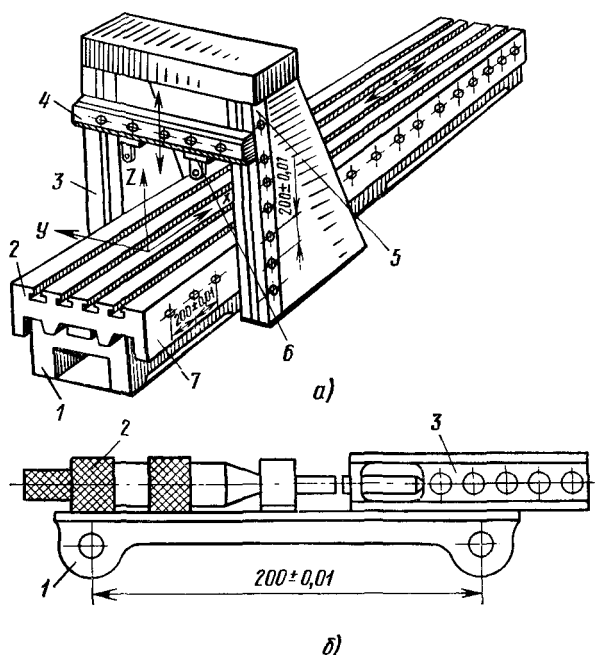


Рис. 2.19. Схема устройства инструментального стенда:

a — инструментальный стенд; 1 — станина; 2 — стол; 3 — портал; 4 — поперечная координатная линейка; 5 — вертикальная координатная линейка; 6 — подвижный узел; 7 — продольная координатная линейка; 6 — универсальный микрометрический калибр; 1 — корпус; 2 — микрометр; 3 — подвижная линейка со штоком

Плаз-кондуктор представляет собой монолитную плиту, по бокам которой укреплены координатные линейки с базовыми отверстиями. По этим отверстиям выставляется поперечная координатная линейка. Боковая и поперечная линейки образуют плоскую прямоугольную систему координат. На них размечают координатную сетку теоретических плазов, сверлят базовые отверстия в плазах, шаблонах, рубильниках.

Инструментальный стенд представляет собой материализованную пространственную систему координат (рис. 2.19). В продольной, поперечной и вертикальной линейках стенда имеются отверстия с шагом $200 \pm 0,01$ мм. По этим линейкам с отверстиями выставляются элементы стапельной оснастки (рубильники, вилки, фиксаторы) при монтаже сборочного приспособления и шаблоны при изготовлении объемной заготовительной оснастки по трем координатным осям.

Расстояния, не кратные 200 мм, определяются с помощью универсального микрометрического калибра (рис. 2.19, б). В последнее время для монтажа ступеней используются лазерные устройства. С помощью позиционно-чувствительных целевых знаков (ПЧЦЗ) и лазерных излучателей создаются лазерные измерительные системы, называемые ЛЦИС (лазерные центрирующие измерительные системы). Для позиционирования элементов оснастки применяются механические, гидравлические или комбинированные устройства. Суть этих систем состоит в создании с помощью лазерных лучей базовых координатных осей и плоскостей. От них и ведется отсчет координат точек, определяющих положение элементов стапельной оснастки в пространстве*.

Эталонно-шаблонный метод повысил точность увязки оснастки, снизил ее трудоемкость. Сущность этого метода состоит в создании и использовании для увязки эталонов и контрэталонов поверхностей агрегатов как единых источников для изготовления заготовительной и обводообразующих элементов сборочной оснастки (рис. 2.20). Применяется этот метод при изготовлении больших и средних размеров машин, так как изготовление точных крупногабаритных эталонов поверхностей весьма затруднительно.

Сначала изготавливаются по шаблонам контуров весьма жесткие каркасы. Затем эти каркасы облицовываются деревом или специальными пластмассами. Поверхности эталонов до заданной формы дорабатываются вручную или на копировальных станках.

Основная идея введения этих эталонов состоит в объединении многих плоских шаблонов в единую жестко связанную систему. Так, монтажный эталон отъемной части крыла (рис. 2.20) объединяет в единую жестко связанную систему все шаблоны сечений крыла, калибры разъема и навески элерона.

* Подробно с использованием лазерных устройств для монтажа ступеней можно ознакомиться в книге: Вагнер Е. Т., Митрофанов А. А., Барков В. Н. Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1977, 175 с.

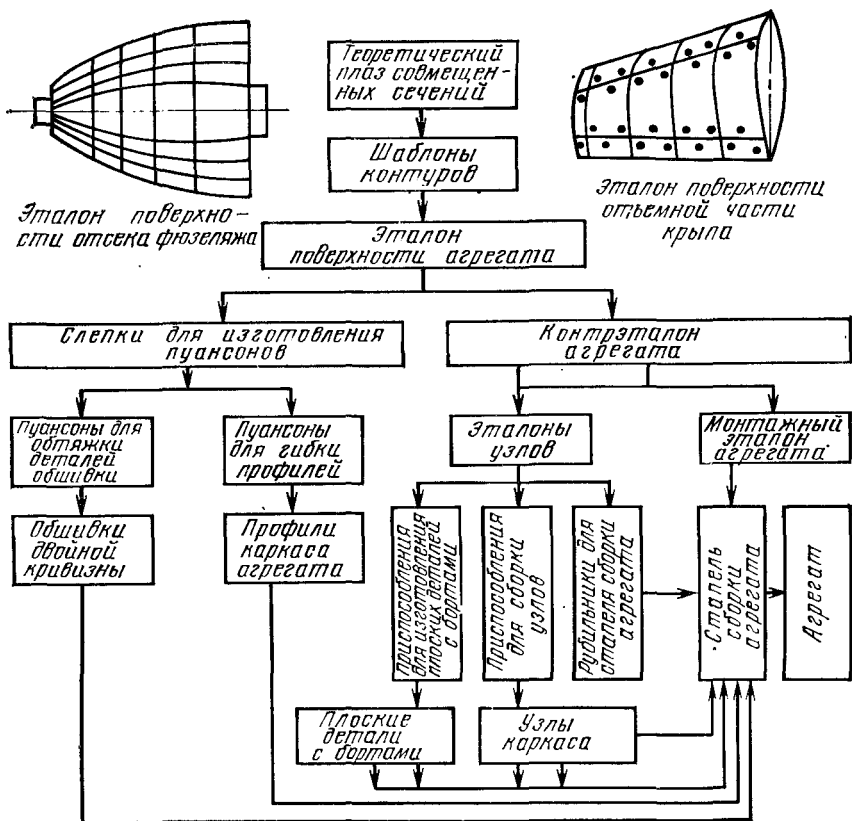


Рис. 2.20. Схема увязки заготовительной и сборочной оснастки эталонно-шаблонным методом

Монтажный эталон является единственным носителем форм и размеров при монтаже всех сборочных приспособлений, необходимых для изготовления этого агрегата. Таким образом, операция пространственной взаимной ориентации плоских шаблонов, выполняемая при монтаже каждого комплекта сборочных приспособлений, исключается. Эта операция выполняется при изготовлении монтажного эталона для всего комплекта оснастки. Тем самым сокращается трудоемкость и повышается точность монтажа станеля.

Перенос форм осуществляется с помощью слепков с нужных участков поверхности агрегата. Для ориентации на поверхности агрегата нанесена система базовых отверстий, строго координированных относительно осей агрегата. По этим отверстиям строго координируется и положение слепка с участка относительно всей поверхности.

Независимые методы увязки форм и размеров на базе ЭВМ

Плазово-шаблонный метод и его различные варианты имели большое значение в обеспечении изготовления взаимозаменяемых деталей, узлов и агрегатов самолетов и вертолетов.

Развитие вычислительной техники, появление оборудования с числовыми системами программного управления, достижения в области прикладной математики создали условия для возникновения новых методов увязки изделий со сложными формами и большими размерами.

С другой стороны, возросли требования к точности обводов самолетов, возникла острая потребность в уменьшении сроков и снижения трудоемкости подготовки производства при запуске новых машин.

В связи с этим получают все более широкое развитие бесплатовые методы увязки, основанные на принципе независимого образования форм и размеров, сопрягаемых элементов конструкции (рис. 2.21).

Алгоритмы решения различных задач позволяют аналитическими методами выполнять увязку форм и размеров, разработать программы для ЭВМ и оборудования с числовыми системами управления, автоматизировать весь процесс задания, увязки и воспроизведения поверхностей.

В настоящее время плазы все больше превращаются в средство визуального контроля аналитических решений. Можно считать, что в этой роли плазы еще сохранятся длительное время.

Для уменьшения трудоемкости и повышения точности изготовления шаблонов применяется запись программы для их изготовления непосредственно с графической информации теоретического плаза. Разработаны установки для записи программ с плаза. Они включают в себя координатограф, оптический проектор с экраном и пультом управления. Программа записывается на бумажную перфорированную или магнитную ленту.

§ 6. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Значение технического контроля в обеспечении высокого качества

Техническим контролем называется проверка соответствия продукции или процесса, от которого зависит качество продукции, установленное техническими требованиями.

Основной задачей технического контроля является недопущение выпуска продукции, не соответствующей требованиям чертежа, техническим условиям и государственным стандартам.

Самолет как объект контроля и процессы его изготовления характеризуются рядом особенностей, отличающих их от других



Рис. 2.21. Укрупненная схема изготовления агрегата при независимом методе увязки с использованием ЭВМ и оборудования с числовым программным управлением

машин и процессов. К ним относятся большое число различных по физической сущности контролируемых признаков, большая трудоемкость и высокие требования к качеству самих процессов контроля.

В конечном счете результатом контроля должен явиться ответ о годности или негодности изделия, о соответствии или несоответствии его требованиям чертежа, техническим условиям или стандартам. Ошибочное заключение о годности негодного изделия может привести к нарушению его нормальной эксплуатации. Ошибочное заключение о негодности годного изделия приводит к дополнительным затратам труда и средств на его изготовление. Отсюда ясна важность получения достоверных результатов контроля.

Виды технического контроля

Технический контроль классифицируют по назначению, степени централизации, типу проверяемых параметров, уровню технической оснащенности, сплошности и структуре.

Рассмотрим кратко сущность каждого из видов технического контроля.

Операционным называется контроль, осуществляемый в ходе или после выполнения технологической операции.

Приемочным называется контроль готовой продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставке и (или) использованию.

Профилактический контроль проводится с целью проверки правильности параметров, определяющих характер протекания технологического процесса.

Децентрализованный контроль проводится исполнителем на каждом рабочем месте.

Централизованный контроль осуществляется единым органом в масштабах цеха, завода. Он выполняется по единым нормам и системе. Большие возможности в развитии этого вида контроля открывает использование вычислительной техники. В этом случае контроль становится не только централизованным, но и автоматическим. Создаются системы автоматического контроля с централизованным сбором и переработкой информации. Такие системы предусматривают использование вычислительных машин (ЭВМ) на трех иерархических уровнях. На первом уровне (ЭВМ-I) собирают данные и управляют процессом в пределах одного рабочего места. На втором уровне (ЭВМ-II) собирают информацию и с ее помощью управляют процессом в пределах цеха. Наконец, центральная ЭВМ-III собирает информацию, обрабатывает ее и осуществляет управляющее воздействие на все технологические процессы, выполняемые в пределах завода и подключенные к ЭВМ.

Контроль геометрических параметров включает измерения линейных и угловых величин, а также контроль формы поверхностей, характеризующих изделие. Контроль геометриче-

ских параметров составляет до 90 % всех измерений, выполняемых при изготовлении самолетов.

Контроль физических параметров включает в себя контроль электрических, механических, химических величин, определяющих характер протекания технологического процесса, или свойства деталей, заготовок, систем оборудования при их изготовлении.

Под контролем функциональных параметров понимается контроль величин, определяющих работоспособность систем бортового оборудования. Часто этот вид контроля называют испытаниями систем самолета.

Инструментальный контроль выполняется с помощью различных приборов и устройств. Различают измерительный и альтернативный инструментальный контроль. При измерительном контроле используются приборы разного рода — стрелочные, шкальные, цифровые, показывающие величину контролируемого параметра.

Альтернативный контроль отвечает на вопрос «да — нет». При этом используются разного рода дефектоскопы, шаблоны, калибры и т. п.

Органолептические методы предусматривают оценку качества «по слуху», «на глаз», «на ощупь», т. е. с помощью органов чувств человека, без использования измерительных приборов или контрольных устройств.

Ручной контроль выполняется с помощью простейшего мерительного инструмента типа линейек, циркулей, угольников. Это малопроизводительный и не всегда достаточно точный метод контроля. Применяется в единичном и мелкосерийном производстве.

Механизированный контроль осуществляется с помощью механизмов с ручным управлением и настройкой.

Автоматизированный контроль выполняется без непосредственного участия человека с помощью автоматических устройств или систем (см. гл. 4, § 4).

Сплошной контроль предусматривает проверку всех параметров всех без исключения изделий партии с одинаковой полнотой. Этот вид обеспечивает наибольшую достоверность контроля. Однако ему присущи высокая трудоемкость и стоимость.

Сплошной контроль первых изделий и выборочный последующих проводится при начале серийного выпуска изделий.

Выборочный контроль состоит в контроле одной или нескольких выборок изделий из общей партии. Размер каждой выборки определяется методами математической статистики, исходя из необходимости получения достаточно достоверных результатов в каждом конкретном случае.

Выборочный приемочный контроль чаще всего проводится по альтернативному признаку, при котором все единицы продукции делятся на годные и негодные.

Под *личным* понимают самоконтроль исполнителем. Этот вид контроля приобретает все большее распространение. Исполнителю выдается личное клеймо, свидетельствующее о высокой квалификации и высокой культуре исполнителя.

Одноступенчатый контроль осуществляется по схеме: исполнитель — контролер ОТК.

Многоступенчатый контроль выполняется по более сложной схеме: исполнитель—контролер ОТК—контроль в лаборатории. И он применяется при контроле сложных, ответственных изделий.

Статистический контроль устойчивости технологических процессов

Опыт показывает, что во многих случаях под влиянием возмущающих воздействий технологический процесс со временем как бы начинает разлаживаться. Значения параметров, определяющих его ход, отклоняются от первоначально заданных величин, появляются бракованные изделия.

Использование статистических методов контроля хода процесса позволяет обнаружить и своевременно предупредить возникновение недопустимых отклонений.

Практически контроль ведут путем выборочного замера некоторого параметра нескольких изделий. Предварительно обработанные значения этих параметров наносят на контрольные карты. Наибольшее распространение получили карты средних значений (*x*-карты) (рис. 2.22).

По оси абсцисс этих карт откладывается время (*t*) выполнения процесса или номер выборки, а по оси ординат среднее арифметическое значение \bar{x} контролируемого параметра

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.22)$$

где *n* — количество единиц продукции в выборке.

На контрольную карту наносится средняя линия \bar{x} , линия верхних δ_v и нижних δ_n границ поля допуска.

Положение средней линии, а также верхней и нижней границ поля допуска устанавливается по результатам контроля в предыдущие календарные сроки (прошлые: месяц, квартал и т. д.)

$$\bar{x} = \frac{1}{m} (\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m);$$

$$\delta_v = \bar{x} + 3\sigma_{\bar{x}}; \quad \delta_n = \bar{x} - 3\sigma_{\bar{x}},$$

(2.23)

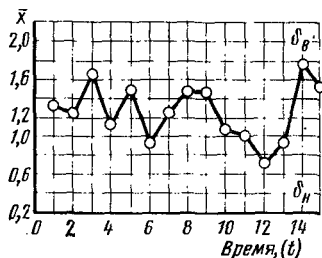


Рис. 2.22. Контрольная карта средних значений (*x*-карта)

где m — количество выборок, взятых для построения карты; $\sigma_{\bar{x}}$ — среднее квадратичное отклонение средних значений \bar{x} по результатам m выборок.

Если значения $\sigma_{\bar{x}}$ неизвестны, то положение границ поля допуска можно определить по формулам

$$\delta_{\text{в}} = \bar{\bar{x}} + A\sigma; \quad \delta_{\text{н}} = \bar{\bar{x}} - A\sigma, \quad (2.24)$$

где A — коэффициент, определяющий ширину поля допуска. Он выбирается таким, чтобы 99,73 % всех значений \bar{x} находились в пределах ограниченной зоны; σ — среднее квадратичное отклонение всех значений контролируемого параметра.

Признаками намечающейся разрегулировки процесса является расположение ряда точек \bar{x} по одну сторону от нее, а также большой разброс \bar{x} . Выход точек \bar{x} за границу поля допуска свидетельствует о том, что устойчивость процесса уже нарушилась.

В этих случаях производится корректировка хода процесса по результатам измерений.

Все шире используются методы технической диагностики для проектирования систем контроля.

Использование методов технической диагностики позволяет определить состояние систем в процессе их изготовления, прогнозировать возможные сроки и виды отказов систем во время их эксплуатации, устанавливать причины уже происшедших в прошлом отказов.

Объект диагноза и средства, с помощью которых он проводится, образуют диагностическую систему.

Различают системы тестового и функционального диагноза. Тестовые системы предусматривают воздействие на объект диагноза специально организованных сигналов (тестов). В производстве они используются при проверке исправности объекта, отыскании неисправностей и определении его работоспособности.

Системы функционального диагноза используются для определения правильности функционирования уже работающих систем. Эти системы не предусматривают дополнительных воздействий на объект. Рабочее воздействие на объект используется в целях диагноза.

Глава 3

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Изделие или какую-либо из его деталей обычно можно изготовить по нескольким вариантам технологических процессов, различающихся между собой применяемым оборудованием, приспособлениями и инструментом. Удовлетворяя необходимому требованию обеспечения заданного качества изделия, эти варианты оставляют технологу известную свободу выбора того или иного процесса обработки и сборки, а также применяемого оборудования

и технологической оснастки. Задачей технолога является отбор такого варианта процесса, который, позволяя изготавливать изделие, удовлетворяющее требованиям чертежа и технических условий, являлся бы в то же время наиболее экономически рациональным в производстве.

Для оценки экономической эффективности технологических процессов обычно используют следующие показатели: производительность труда, себестоимость продукции и эффективность капиталовложений.

Производительность труда характеризует затраты живого труда на изготовление единицы продукции.

Себестоимость продукции отражает суммарные затраты живого и овецественного труда и является более полным показателем экономичности технологических процессов.

Эффективность капиталовложений характеризует экономическую эффективность использования дорогого оборудования или инструмента в условиях ограниченных фондов, выделяемых на обновление и улучшение производственной техники.

§ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Производительность труда определяется количеством потребительных стоимостей, создаваемых одним рабочим в единицу времени.

Общими факторами повышения производительности труда в промышленности СССР являются: развитие науки и технический прогресс, рост культурно-технического уровня и повышение творческой активности трудящихся, улучшение организации труда и производства. Эти факторы подробно рассматриваются в курсе «Политическая экономия».

Значительная роль в повышении производительности труда принадлежит конструктору и технологу. Создание конструкций, отличающихся более совершенными летно-тактическими характеристиками, наряду с высокой технологичностью способствует повышению производительности труда вследствие повышения потребительной стоимости и снижения трудоемкости.

Борясь за высокую производительность труда при запуске изделия в производство, технолог должен проектировать такие технологические процессы, при которых время, затрачиваемое на изготовление изделия, было бы минимальным для данных условий.

Далее рассматриваются структура и технологические методы сокращения составляющих времени, затрачиваемого на изготовление изделия.

Штучно-калькуляционное время и его составляющие. Общее время, затрачиваемое на изготовление изделия, складывается из отдельных времен на выполнение операций, составляющих

технологический процесс. Время $t_{шт}$ на выполнение операции по обработке одной детали (или сборке одной сборочной единицы) называется *штучным*.

В штучное время входит несколько составляющих.

Основное время t_0 — время, затрачиваемое на непосредственную обработку предмета труда, т. е. на изменение его формы, размеров, физико-механических свойств и т. д.

Для процессов механической обработки основное время определяется по формуле

$$t_0 = i \frac{L}{s_M} = i \frac{L}{ns}, \quad (3.1)$$

где i — число проходов для снятия припуска; L — длина рабочего хода в направлении подачи, мм; s_M — подача, мм/мин; s — подача на один оборот или двойной ход (изделия или инструмента), мм; n — частота вращения изделия или инструмента (об/мин) или число двойных ходов (в мин).

Подставляя в эту общую формулу выражения для n , s и L , определяемые кинематическими или геометрическими соотношениями, можно получить развернутые формулы для конкретных видов обработки.

Длина рабочего хода в направлении подачи состоит из трех величин:

$$L = l + y_1 + y_2, \quad (3.2)$$

где l — длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи; y_1 и y_2 — врезание и перебег инструмента.

Вспомогательное время t_B — время, затрачиваемое на создание условий для выполнения основной работы и повторяющееся с каждым предметом труда или через определенное число их.

Во вспомогательное время входит время на установку и снятие детали, на изменение режима работы оборудования, подвод и отвод инструмента, замену инструмента в процессе выполнения операции, на измерение детали в процессе ее обработки, выполняемое производственным рабочим, и т. д.

Для некоторых видов работ (заготовительно-штамповочные, сварочные и др.) трудно и нецелесообразно разделять основное и вспомогательное время, и тогда длительность их определяют суммарно. *Основное и вспомогательное время* составляет вместе оперативное время ($t_{оп}$).

Время обслуживания рабочего места — время, затрачиваемое на уход за рабочим местом на протяжении всей смены. В штучное время входит его доля, приходящаяся на единицу продукции.

В отличие от t_B время обслуживания рабочего места затрачивается не при каждой операции, а один или несколько раз в течение всей смены.

Время обслуживания рабочего места разделяется на время организационного и технического обслуживания. Время организационного обслуживания затрачивается на осмотр и опробование

оборудования, раскладку в начале и уборку по окончании смены инструмента и документации, а также на чистку и смазку оборудования. Время технического обслуживания затрачивается на регулировку и подналадку станка в процессе работы, на смену затупившегося инструмента, а также на удаление стружки в процессе работы.

Время перерывов на отдых и личные надобности. В штучное время включается доля этого времени, приходящаяся на единицу продукции. Перерывы на отдых предусматриваются только для физически тяжелых и утомительных работ (например, для обточки с ручной подачей, для некоторых видов ручной сварки и т. п.).

Подготовительно-заключительное время $T_{п.з}$ — время, затрачиваемое рабочим на подготовительные действия перед началом обработки, а также на завершающие действия после обработки партии деталей. В подготовительно-заключительное время входит время на ознакомление рабочего с чертежом и технологическим процессом, на получение инструктажа от мастера, получение документации, инструмента, приспособлений и заготовок, на установку и настройку инструмента и приспособлений, если они выполняются самим рабочим, на настройку оборудования на заданные режимы, а также на снятие инструмента и приспособлений и на сдачу работы контролеру.

При работе на станках настраиваемого типа (например, револьверных) в подготовительно-заключительное время включается оперативное время изготовления одной пробной детали.

Штучное время $t_{шт}$ определяют по формуле

$$t_{шт} = (t_0 + t_{в}) \left(1 + \frac{\alpha}{100} + \frac{\beta}{100} + \frac{\gamma}{100} \right), \quad (3.3)$$

где α — отношение времени на техническое обслуживание рабочего места к оперативному времени, %; β — отношение времени организационного обслуживания рабочего места к оперативному времени, %; γ — отношение времени на отдых и личные надобности к оперативному времени, %.

Для ручных работ штучное время определяют по более простой формуле

$$t_{шт} = t_{оп} \left(1 + \frac{k}{100} \right), \quad (3.4)$$

где k — суммарный процент времени на обслуживание рабочего места и на перерывы для отдыха и на личные надобности по отношению к оперативному времени.

Время на партию и штучно-калькуляционное время. Время для выполнения одной операции при изготовлении партии изделий ($T_{пар}$) складывается из штучного времени изделий, входящих в партию, и подготовительно-заключительного времени:

$$T_{пар} = n t_{шт} + T_{п.з}, \quad (3.5)$$

где n — число изделий в партии.

Среднее время для выполнения операции по изготовлению одного изделия с учетом затрат подготовительно-заключительного времени называется штучно-калькуляционным $t_{ш.к}$ и определяется по формуле

$$t_{ш.к} = t_{ш} + \frac{T_{п.в.}}{n}. \quad (3.6)$$

Условия обеспечения максимальной производительности труда

При разработке технологического процесса изготовления изделия технолог должен соблюдать следующие четыре условия:

1) выбирать рациональную структуру технологического процесса и наиболее прогрессивные процессы обработки и сборки (например, штамповку и чеканку вместо механической обработки, анодно-механическую резку труднообрабатываемых материалов вместо резки дисковыми пилами);

2) применять наиболее высокопроизводительное и автоматизированное оборудование и оснастку (например, сварочные автоматы вместо обычных сварочных машин);

3) максимально использовать технические возможности оборудования и оснастки, обеспечивая полную загрузку их по мощности и во времени;

4) наиболее рационально использовать квалификацию и время рабочего, применяя многостаночное обслуживание и, где это возможно, самостоятельную палатку оборудования рабочим.

Ниже рассматриваются конкретные технологические мероприятия по снижению длительности отдельных составляющих штучного, а также подготовительно-заключительного времени.

Сокращение основного времени. Длительность основного времени на изготовление изделия зависит прежде всего от выбранных процессов обработки и сборки. Конструктор при разработке конструкции и технолог при проектировании технологических процессов должны ориентироваться на такие процессы, которые позволяют изготовить изделие с меньшими затратами труда. Известно, что механическая обработка сравнительно с процессами обработки без снятия стружки (например, с процессами горячей штамповки) характеризуется низкой производительностью, вследствие чего ее оставляют только для получения поверхностей высокой точности и чистоты.

Более прогрессивными процессами для серийного и массового производства являются прессование, горячая штамповка и специальные виды литья.

Сокращение основного времени при механической обработке достигается следующими путями:

1. Уменьшение числа проходов. Обычно обработку выполняют в два прохода: черновой и чистовой. Обработка в один проход возможна лишь при небольшом припуске при относительно невысоких требованиях к точности и чистоте обработанной поверх-

ности и при достаточной жесткости системы станок — деталь — инструмент.

2. Повышение скорости обработки. Одним из основных путей снижения основного времени является повышение скорости обработки. Выпускаемые в настоящее время станки и инструмент позволяют выполнять точные

мало- и среднелегированных сталей со скоростями резания, измеряемыми тысячами метров в минуту.

3. Увеличение подачи. Обработка с большими подачами позволяет увеличить производительность труда без повышения скорости резания и поэтому может быть применена на станках с небольшой частотой вращения. Чтобы при этом не снизить класс чистоты поверхности, обработку с большими подачами выполняют широкими зачистными резцами, в частности, резцами Колесова.

4. Уменьшение врезания, перебега. Во время врезания оборудование и инструмент работают с недостаточной нагрузкой, так как режимы резания рассчитываются по максимальному сечению стружки. При перебеге обработка вообще не имеет места. Уменьшению врезания способствует применение инструмента соответствующей геометрии, в частности, резцов с главным углом в плане 90° .

Величина врезания, приходящаяся на одну деталь, значительно уменьшается при фрезеровании заготовок в многоместном приспособлении. Врезание в очередную заготовку происходит до окончания обработки предшествующей заготовки.

Перебег инструмента уменьшается при работе по упорам, точно ограничивающим длину рабочего хода размерами обрабатываемой поверхности.

5. Многоинструментная обработка. Если мощность станка достаточна для загрузки на экономических режимах резания нескольких режущих инструментов, возможно применение многоинструментной обработки, которая резко сокращает основное время.

На рис. 3.1, а показан пример обработки одной поверхности четырьмя параллельно работающими резцами. Основное время сокращается за счет уменьшения в 4 раза длины l (см. формулу (3.2) I).

На рис. 3.1, б приведен пример параллельной обработки двух различных поверхностей детали. При этом обточка наружной поверхности целиком совмещается со сверлением отверстия и не требует дополнительных затрат времени.

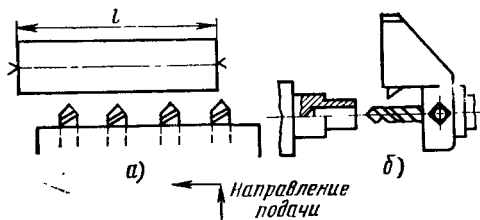


Рис. 3.1. Многоинструментная обработка: а — сокращение длины рабочего хода; б — параллельная обработка различных поверхностей

Сокращение вспомогательного времени. Проблема снижения вспомогательного времени стала особенно острой с внедрением скоростных режимов обработки, когда это время стало составлять значительную часть оперативного и штучного времени.

Основной путь снижения вспомогательного времени — механизация и автоматизация вспомогательных работ.

1. Сокращение времени на установку и закрепление заготовок. Для устранения трудоемких работ по выверке положения заготовок относительно оборудования или инструмента применяют приспособления, обеспечивающие правильное взаимное расположение обрабатываемых заготовок и инструмента или собираемых деталей.

Значительно сократить время закрепления можно заменой ручных зажимов механизированными: пневматическими, гидравлическими, электромагнитными и др.

2. Сокращение времени на управление оборудованием. Для уменьшения этого времени в современных станках концентрируют рукоятки в одной зоне вблизи от рабочего, уменьшают число рукояток управления, переходят от управления маховичками к кнопчному.

Применение копируемых устройств резко уменьшает время на управление при обработке фасонных поверхностей.

3. Сокращение времени на смену инструмента. Заготовку на станке часто обрабатывают последовательно несколькими инструментами. Смена обрабатывающих инструментов при выполнении разных переходов и придание им правильного положения с целью получения заданных размеров детали должны занимать минимальное время. Обе эти задачи решаются применением станков настроенного типа (например, револьверных), в которых инструменты заменяются в процессе выполнения операции простым поворотом револьверной головки или резцедержателя суппорта. Инструмент настраивается на нужные размеры заранее в процессе подготовительной работы.

4. Сокращение времени на измерения. При работе на станках ненастроенного типа, например, токарных, приходится выполнять большое количество измерений, требующих много времени. Время на измерения резко уменьшается при использовании оборудования настроенного типа, когда требуемые размеры получаются автоматически.

5. Параллельное выполнение нескольких вспомогательных работ. Примерами такого совмещения могут служить одновременный подвод двух суппортов автомата к заготовке и сочетание отвода револьверной головки после окончания перехода с поворотом ее для включения в работу нового режущего инструмента.

6. Совмещение вспомогательного времени с основным. Производительность труда значительно повышается при совмещении вспомогательного времени с основным. Примером может служить так называемое позиционное фрезерование заготовок, установлен-

ных в двух приспособлениях на поворотном столе фрезерного станка. После окончания фрезерования заготовок в одном приспособлении стол быстро поворачивают на 180° , подводя к фрезе другое приспособление. Пока фрезеруются установленные в нем заготовки, из первого приспособления вынимают готовые детали и закладывают новые заготовки.

Сокращение времени на обслуживание рабочего места. Наиболее существенная часть времени технического обслуживания расходуется на смену затупившегося инструмента. Поскольку частота замен каждого инструмента зависит от его стойкости, в многоинструментных станках, где затраты на смену инструмента особенно велики, выбирают такие материалы и режимы работы инструментов, чтобы замены были более редкими и приходились по возможности на обеденные и междусменны перерывы.

Для ускорения смены инструмента его крепят быстродействующими зажимами.

Настройка на размер ускоряется при использовании специальных шаблонов, по которым устанавливают инструмент.

Сокращению времени организационного обслуживания способствует хорошая организация рабочего места: наличие удобных инструментальных ящиков, надлежащий порядок в размещении технологической документации и инструмента и т. п.

Сокращение подготовительно-заключительного времени. Длительность подготовительно-заключительного времени, как правило, значительно превышает длительность штучного времени. Доля $T_{п.з}$ в штучно-калькуляционном времени уменьшается с ростом числа деталей в партии [см. формулу (3.6)]. Поэтому в условиях крупносерийного производства детали обрабатывают на рабочем месте партиями в несколько десятков, а то и сотен штук.

В мелкосерийном производства детали изготавливают небольшими партиями, что ведет к увеличению доли $T_{п.з}$ в $t_{шт.к}$.

Высокопроизводительное оборудование настроенного типа требует обычно повышенных затрат времени на подготовительно-заключительные работы. Применение такого оборудования для изготовления небольшого числа деталей нерационально.

Сокращение подготовительно-заключительного времени позволяет применять передовые технологические процессы и высокопроизводительное оборудование, характерные для массового и крупносерийного производства, в условиях серийного и мелкосерийного производства.

Время на настройку оборудования, установку и регулирование приспособлений сокращается совершенствованием конструкции оборудования и технологической оснастки.

При работе на станках настроенного типа можно значительно сократить время на перенастройку, применяя метод групповой обработки деталей. Детали, подлежащие изготовлению, разбивают на группы, сходные по геометрическим формам, с учетом

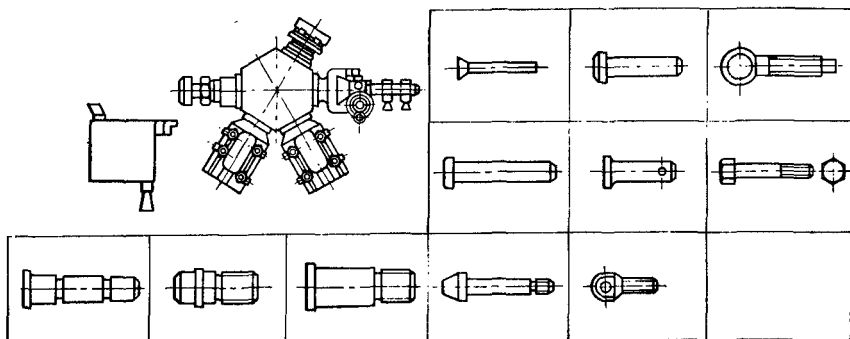


Рис. 3.2. Наладка револьверного станка на изготовление различных деталей

программы выпуска. В каждую группу объединяются детали, которые могут быть изготовлены на одном и том же станке и одним и тем же набором настроенного инструмента.

Настройку инструмента проектируют для наиболее сложной детали из группы. При переходе к изготовлению других деталей группы производят лишь небольшую поднастройку инструмента и упоров на новые размеры.

В тех случаях, когда для изготовления детали не требуется весь комплект инструмента, в процессе работы пользуются только необходимым, пропуская ненужный, но не снимая его, поскольку он может потребоваться для других деталей.

На рис. 3.2 приведен пример набора деталей, которые могут последовательно изготавливаться на револьверном станке с небольшой подналадкой. Метод групповой обработки особенно эффективен при малых программах выпуска деталей.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ

Совместные затраты живого и овеществленного труда оценивают величиной себестоимости продукции. Как известно, себестоимость представляет собой денежное выражение затрат предприятия на производство единицы продукции. В нее входят материальные издержки производства, зарплата производственных рабочих и накладные расходы. Себестоимость является одним из важнейших показателей эффективности производства.

Являясь одним из источников накопления, снижение себестоимости промышленной продукции способствует решению главной экономической задачи СССР — созданию материально-технической базы коммунизма и систематическому подъему материального благосостояния и культурного уровня трудящихся.

Технологическая себестоимость продукции

Расчет технологической себестоимости. Среди отдельных составляющих себестоимости наряду с теми, которые существенно изменяются при переходе от одного процесса изготовления к другому, есть такие, которые вовсе не зависят от изменения технологического процесса или зависят незначительно. Поэтому при сравнительном экономическом анализе рассматривают не всю себестоимость, а так называемую технологическую.

Технологическая себестоимость — часть себестоимости, включающая расходы, которые могут существенно изменяться с изменением технологического процесса.

Обычно в технологическую себестоимость C_T включают следующие составляющие:

- а) расходы на заготовку M ;
- б) зарплату производственных рабочих Z ;
- в) расходы по эксплуатации оборудования \mathcal{E}_0 ;
- г) расходы на амортизацию A ;
- д) расходы на приспособления P ;
- е) расходы на инструмент I .

В соответствии с этим технологическую себестоимость выполнения операции определяют по следующей формуле:

$$C_T = M + Z + \mathcal{E}_0 + A + P + I. \quad (3.7)$$

Расходы на заготовку

$$M = k_M B_M C_M - B_{от} C_{от}, \quad (3.8)$$

где k_M — коэффициент, учитывающий расходы по транспортировке материала на предприятие; B_M — масса заготовки, кг; C_M — цена единицы массы заготовки, р./кг; $B_{от}$ — масса отходов; $C_{от}$ — цена единицы массы отходов, р./кг.

Зарплата производственных рабочих

$$Z = Z_c t_{ш.р} k_1 k_2 k_3, \quad (3.9)$$

где Z_c — часовая тарифная ставка рабочего, р./чел.-ч; $t_{ш.р}$ — штучно-калькуляционное время, ч; k_1 — коэффициент, учитывающий влияние бригадного или многостаночного обслуживания; k_2 — коэффициент приработка рабочего, учитывающий разницу между фактическим и тарифным часовым заработком вследствие перевыполнения норм; k_3 — коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и начисления в фонд соцстраха.

Коэффициент k_1 учитывает возможность работы на сложных станках двух и более рабочих и возможность многостаночного обслуживания, когда один рабочий обслуживает несколько станков. В общем случае k_1 определяют как

$$k_1 = \frac{P_{пп}}{Q}, \quad (3.10)$$

где $P_{пр}$ и Q — соответственно число рабочих и обслуживаемых ими станков.

При работе на автоматах и полуавтоматах расходы на зарплату наладчиков определяются по формуле (3.9) с учетом другого числа станков, приходящегося на одного наладчика.

Наладка других станков обычно осуществляется самими рабочими, и затраты времени на наладку уже учтены в $t_{ш.к}$. Если же наладка выполняется специально выделяемыми наладчиками, то из подготовительно-заключительного времени время наладки выделяют, а расходы на наладку определяют по формуле

$$H = \frac{T_{н} Z_c k_2 k_3}{n}, \quad (3.11)$$

где $T_{н}$ — продолжительность наладки оборудования; Z_c — тарифная ставка наладчика; n — число деталей в партии, обрабатываемой за одну наладку.

Расходы по эксплуатации оборудования \mathcal{E} состоят из расходов на ремонт и модернизацию P , а также расходов на энергию \mathcal{E} .

Расходы на ремонт и модернизацию P определяют по формуле

$$P = \frac{\Gamma_{р.с} p k_{\mathcal{E}}}{C_{р.с}} \frac{t_{ш.к}}{k_{н}}, \quad (3.12)$$

где $\Gamma_{р.с}$ — группа ремонтной сложности оборудования; p — расходы на все виды ремонтных работ за период ремонтного цикла для единицы группы ремонтной сложности, р.; $C_{р.с}$ — ремонтный цикл, т. е. фондовое время между двумя капитальными ремонтами, ч; $k_{\mathcal{E}}$ — коэффициент, учитывающий затраты на ремонт и осмотр электрооборудования станка; $k_{н}$ — коэффициент выполнения норм.

Расходы на электроэнергию \mathcal{E} могут быть определены по формуле

$$\mathcal{E} = k_N k_{н} N_y C_{эл} t_M, \quad (3.13)$$

где k_N — коэффициент загрузки станка по мощности, определяемый отношением мощности, затрачиваемой на полезную работу и на потери в механизмах станка, к установленной мощности; $k_{н}$ — коэффициент потерь электроэнергии, учитывающий потери энергии в сети завода, а также на холостой ход станка; N_y — установленная мощность электродвигателей станка, кВт; $C_{эл}$ — цена единицы электроэнергии, р./кВт·ч; t_M — машинное время, ч.

Расходы по амортизации оборудования A возникают вследствие износа оборудования в процессе работы. Кроме того, происходит моральный износ, характеризующий отставание оборудования по техническому совершенству и экономическим показателям от новых моделей. Экономическое возмещение износа оборудования путем постепенного перенесения его стоимости на каждую единицу вырабатываемой продукции называется *амортизацией оборудования*.

Для универсального оборудования расходы по амортизации на одну операцию определяют по формуле

$$A_y = \frac{(C_\Phi - Л) a}{k_3 \Phi \cdot 100} \frac{t_{ш.к}}{k_H}, \quad (3.14)$$

где C_Φ — стоимость оборудования с учетом его доставки и монтажа, р.; $Л$ — остаточная стоимость оборудования (стоимость лома), р.; a — норма годовых амортизационных отчислений, %; k_3 — коэффициент загрузки оборудования, т. е. отношение времени, в течение которого оборудование занято работой, к фонду времени его работы. Он учитывает внеплановые простои станка по техническим или организационным причинам, например, вследствие несвоевременного поступления заготовок на рабочее место; Φ — годовой фонд времени работы оборудования, т. е. времени, в течение которого оборудование может быть использовано для работы, ч; величина его определяется произведением числа рабочих дней в году на число смен работы предприятия и на длительность смены в часах за вычетом времени, в течение которого оборудование находится в капитальном ремонте.

Специальное оборудование предназначено для изготовления одной детали. Помимо специальных узлов оно содержит также универсальные стандартные узлы, которые могут быть использованы в другом специальном оборудовании. Специальное оборудование находится в эксплуатации, пока не сменится объект производства. При этом амортизационные расходы для универсальных деталей и узлов рассчитываются так же, как для универсального оборудования, т. е. по формуле (3.14). Расходы по амортизации специальных частей оборудования, которые не могут быть использованы в новых компоновках, а также расходы по сборке оборудования равномерно разносятся на все детали, изготовленные с помощью специального оборудования:

$$A_c = A' + A'', \quad (3.15)$$

где A_c — расходы по амортизации специального оборудования; A' — амортизационные расходы на универсальные части оборудования; A'' — амортизационные расходы на специальные части, а также на сборку оборудования

$$A'' = \frac{C_\Phi''}{N}, \quad (3.16)$$

где C_Φ'' — стоимость специальных частей оборудования и его сборки; N — общее количество деталей, подлежащих изготовлению на специальном станке за время выпуска машины.

Расходы на приспособления Π зависят от типа приспособлений. Расходы на универсальное приспособление Π включают цену покупного приспособления (или себестоимость приспособления собственного производства) и расходы на ремонт. Эти расходы равномерно распределяются на весь период нахождения приспособления

собления в эксплуатации, и доля их, приходящаяся на каждую изготовленную с их помощью заготовку, зависит от времени, в течение которого приспособление занято изготовлением данной детали:

$$P_y = \frac{C_{п.у} + P_{п}}{k_B T_{п}} \frac{t_{ш.к}}{k_{п}}, \quad (3.17)$$

где $C_{п.у}$ — цена универсального (покупного) приспособления или себестоимость приспособления своего производства; $P_{п}$ — расходы на ремонт приспособления за время его эксплуатации; $T_{п}$ — срок службы приспособления до полного износа; k_B — коэффициент использования приспособления, учитывающий неполное использование приспособления во времени.

Расходы на специальное приспособление P_c определяют по формуле

$$P_c = \frac{C_{п.с} - L + P_{п}}{N}, \quad (3.18)$$

где $C_{п.с}$ — цена или себестоимость специального приспособления; L — остаточная стоимость деталей приспособления, которые могут быть использованы для изготовления других приспособлений после снятия изделия с производства; N — число деталей, подлежащих изготовлению в данном приспособлении за время выпуска изделия.

Станочные специальные приспособления обычно мало загружены во времени. С целью снижения расходов P_c приспособления делают в ограниченных пределах переналаживаемыми на изготовление других деталей. Это увеличивает количество деталей N , которые изготавливаются в данном приспособлении, и снижает P_c .

Расходы на режущий инструмент включают затраты на изготовление или приобретение инструмента, а также на его заточку.

Расходы на универсальный инструмент определяют по формуле

$$I_y = \frac{C_{и.у} + C_{п} n_{п}}{T (n_{п} + 1)} t_{ш}, \quad (3.19)$$

где $C_{и.у}$ — цена универсального инструмента; $C_{п}$ — затраты на одну переточку, р.; $n_{п}$ — количество переточек инструмента до полного износа; T — стойкость инструмента между двумя переточками.

Для абразивного инструмента (шлифовальные круги) расходы на переточку учитывать не нужно, так как время правки шлифовального круга учтено в формуле штучного времени.

Расходы на специальный обрабатывающий инструмент I_c определяют по формуле

$$I_c = \frac{C_{и.с} Q + C_{п} n_{п} (Q_c - 1) + C_{п} n'_{п}}{N}, \quad (3.20)$$

где Q_c — количество специальных инструментов одного типоразмера, потребных для обработки всей программы выпуска машин N ; $C_{и.с}$ — себестоимость специального инструмента; $n'_{п}$ — коли-

чество переточек последнего из специальных инструментов до выполнения всей программы выпуска машин.

Затраты на переточку последнего из специальных инструментов $C_n n'_n$ меньше $C_n n_n$, так как последний инструмент работает не до полного износа.

Величину Q_c определяют по формуле

$$Q_c = \frac{t_M N}{T(n_n + 1)} \quad (3.21)$$

с округлением до ближайшего большего целого числа.

Технологические методы снижения себестоимости.

Основным путем снижения себестоимости продукции является повышение производительности труда. С ростом производительности труда снижаются расходы на зарплату. Кроме того, если повышение производительности труда достигнуто на базе использования существующего оборудования и оснастки, уменьшаются все составляющие технологической себестоимости (кроме расходов на материалы и инструмент) за счет снижения времени обработки [см. формулы (3.12), (3.13), (3.14), (3.17)].

Использование высокопроизводительного оборудования, специальных инструментов и приспособлений вместе с повышением производительности труда приводит к увеличению расходов по эксплуатации оборудования, на амортизацию, а также на инструмент и приспособления.

Снижение расходов на заготовки. Расходы на заготовки составляют наиболее значительную часть себестоимости продукции, достигающую в ряде случаев 25 % стоимости готового изделия.

Основным средством снижения расходов на заготовки является снижение массы заготовок B_M [см. формулу (3.8)], т. е. максимальное приближение их массы к массе готовых деталей. Снижение массы заготовок помимо уменьшения расходов на заготовку приводит к экономии материалов, что имеет большое значение для народного хозяйства. Наконец, приближение конфигурации заготовки к детали уменьшает объем последующей механической обработки и снижает другие составляющие технологической себестоимости.

Совершенство заготовки с точки зрения использования материала характеризуется коэффициентом использования материала η_M , который представляет собой отношение массы готовой детали m к массе заготовки для нее m_M :

$$\eta_M = \frac{m}{m_M} \quad (3.22)$$

Масса заготовок снижается применением для их изготовления таких прогрессивных процессов, как прессование, холодная высадка, горячая штамповка и специальные виды литья.

Для деталей, изготавливаемых из листа, η_M повышают экономным раскромом материала (см. гл. 7).

Снижение расходов на ремонт. Общие расходы на ремонт за весь период эксплуатации оборудования в несколько раз превышают первоначальную стоимость нового оборудования.

При проектировании технологических процессов следует при прочих равных условиях выбирать более простое оборудование с меньшей величиной $G_{p.c}$ [см. формулу (3.12)].

Уменьшению расходов на ремонт способствуют также все мероприятия, направленные на сокращение $t_{ш.к.}$

Снижение расходов на энергию. Расходы на энергию снижают, уменьшая затраты ее на единицу продукции и снижая стоимость единицы энергии. Первое достигается применением оборудования с высоким коэффициентом полезного действия, а также возможно более полной загрузкой его по мощности и во времени, второе — заменой дорогих видов энергии дешевыми.

Снижение расходов по амортизации оборудования. Усложнение современного оборудования, связанное с повышением производительности, повышает его стоимость. При правильном использовании оборудования это возрастание перекрывается снижением себестоимости от повышения производительности труда. Вместе с тем иногда для обработки выбирают дорогое и сложное оборудование, возможности которого не используются полностью. В таких случаях сравнительно небольшое повышение производительности труда сопровождается столь значительным увеличением амортизационных расходов, что это становится экономически нецелесообразным.

Большое значение имеет улучшение использования оборудования по мощности и во времени, ведущее к увеличению k_v и сокращению $t_{ш.к.}$ [см. (3.14)]. Кроме снижения расходов по амортизации улучшение использования оборудования позволяет без дополнительных капиталовложений увеличить выпуск продукции.

Снижение расходов на приспособления. Универсальные приспособления изготавливают на специализированных заводах. При использовании универсальных приспособлений расходы на них снижают путем уменьшения $t_{ш.к.}$ [см. формулу (3.17)] и снижения затрат на ремонт.

Значительную долю в себестоимости продукции составляют расходы на специальные приспособления. Существенного снижения расходов на них и ускорения их изготовления достигают путем сборки их на болтах и винтах из стандартных высокоточных и износостойких элементов комплекта УСП (универсально-сборных приспособлений), а также максимальным введением в их конструкции универсальных элементов.

При смене объекта производства приспособления разбирают, а освободившиеся детали применяют для сборки новых приспособлений.

Снижение расходов на инструмент. При выборе универсального инструмента нельзя ориентироваться только на минимальные расходы на инструмент, поскольку применение более дешевого,

но малостойкого инструмента удлинляет время обработки и увеличивает другие составляющие технологической себестоимости. Обычно для обработки выбирают такой инструмент, который полностью загружает станок по мощности либо позволяет работать при частоте вращения шпинделя, близкой к максимальной.

Снижение расходов по наладке оборудования. Основным средством снижения расходов на наладку является уменьшение времени наладки, являющегося частью подготовительно - заключительного времени.

Выбор варианта технологического процесса, обеспечивающего минимальную себестоимость. Технологическая себестоимость C_T зависит от программы выпуска N , т. е. от общего количества деталей, подлежащих изготовлению. Зависимость эта выражается сложной кривой, состоящей из отрезков прямых и гипербол. Практически при сравнении вариантов значительно удобнее строить графики изменения не технологической себестоимости, а суммарных расходов на изготовление N деталей или, что то же, технологической себестоимости N деталей C_{TN} :

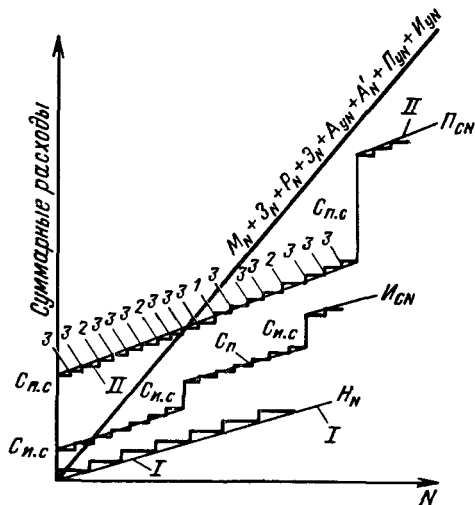


Рис. 3.3. Изменение отдельных групп суммарных расходов в зависимости от программы выпуска

$$C_{TN} = NC_T. \quad (3.23)$$

Суммарные расходы на заготовку M_N , на зарплату производственных рабочих Z_N , на ремонт P_N , на электроэнергию E_N , на амортизацию универсального оборудования $A_{ун}$ и универсальных частей специального оборудования A'_N , на универсальные приспособления $P_{ун}$ и на универсальный инструмент $I_{ун}$ изменяются прямо пропорционально числу изготавливаемых деталей (рис. 3.3).

Расходы на наладку возникают всякий раз при запуске в производство очередной партии деталей, и, таким образом, повторяются через каждые n деталей, составляющих партию. График изменения суммарных расходов на наладку представляет собой ломаную линию (см. рис. 3.3). С достаточной для практики точностью ее можно заменить прямой линией $I-I'$, т. е. считать суммарные расходы на наладку тоже пропорциональными числу

изготавливаемых деталей N в соответствии с формулой, которая выведена с учетом зависимости (3.11)

$$H_N = \frac{T_{\text{н}} \varepsilon c_2 k_3}{n} N. \quad (3.24)$$

Суммарные амортизационные расходы на специальные части оборудования, а также на его сборку, очевидно, равны стоимости специальных частей станка и его сборки [см. формулу (3.16)]

$$A''_N = C''_{\text{ф}}. \quad (3.25)$$

Первоначальные затраты на приобретение или изготовление специального приспособления составляют $C_{\text{п.с}}$. Они откладываются на оси ординат при $N = 0$ (см. рис. 3.3). В дальнейшем, по мере износа приспособления, появляются расходы на ремонт. На рис. 3.3 показано, что до полного износа специальное приспособление проходит один капитальный ремонт (участок 1), четыре средних (участки 2) и 12 мелких (участки 3). После полного износа приспособления на графике появляется скачок на величину стоимости нового приспособления. В расчетах применяют упрощенный график, показанный линией II—II. Суммарные расходы (в рублях) на специальные приспособления при этом определяют по формуле

$$P_{\text{сн}} = Q_{\text{пр}} C_{\text{п.с}} + P_{\text{п}} Q_{\text{т}} - L(Q_{\text{пр}} - Q_{\text{т}}). \quad (3.26)$$

Здесь $Q_{\text{пр}}$ — принятое (округленное до целого) число приспособлений, необходимое для изготовления N деталей; $P_{\text{п}}$ — расходы на все виды ремонта приспособления до его полного износа, р.; $Q_{\text{т}}$ — теоретическое (не округленное) число приспособлений, необходимых для изготовления N деталей; L — суммарная стоимость деталей приспособления, которые могут быть использованы для изготовления других приспособлений, р.

Износостойкость приспособления может оказаться недостаточной для изготовления заданного количества деталей. Поэтому в формулу (3.26) введен множитель $Q_{\text{т}}$, который определяется соотношением

$$Q_{\text{т}} = \frac{N}{N_{\text{изн}}}, \quad (3.27)$$

где N — количество деталей, подлежащих изготовлению; $N_{\text{изн}}$ — число деталей, которые могут быть изготовлены в приспособлении до полного его износа.

Полученное теоретическое значение $Q_{\text{т}}$ округляют до ближайшего большего целого и получают $Q_{\text{пр}}$.

Суммарные расходы на специальный инструмент определяют как

$$I_{\text{сн}} = C_{\text{и}} Q_{\text{пр}} + C_{\text{п}} n_{\text{п}} Q_{\text{т}}, \quad (3.28)$$

где $Q_{\text{т}}$ и $Q_{\text{пр}}$ — теоретическое и принятое (с округлением до ближайшего большего целого) количества инструментов, необходимые для изготовления заданного числа деталей,

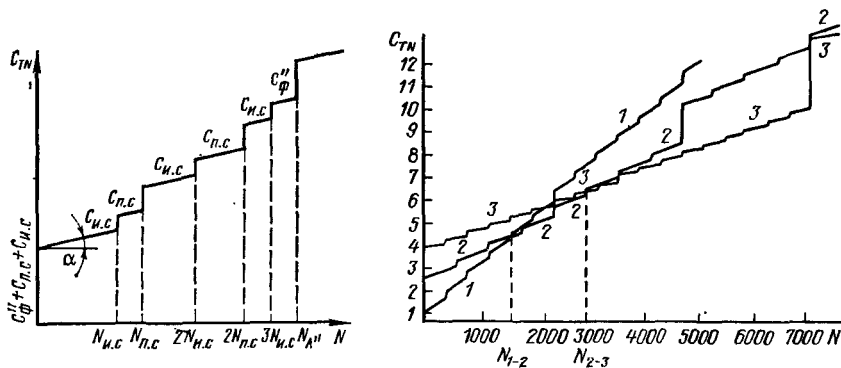


Рис. 3.4. График изменения суммарной технологической себестоимости в зависимости от программы выпуска

Рис. 3.5. Сравнение вариантов технологических процессов по суммарным расходам на изготовление деталей:

1, 2, 3 — кривые изменения суммарных расходов для соответствующих вариантов технологического процесса

График суммарной технологической себестоимости приведен на рис. 3.4.

На рис. 3.5 изображены кривые изменения затрат для трех вариантов технологических процессов. В первом варианте (линия 1) в основном используют универсальное оборудование и инструмент и небольшое число простых специальных инструментов и приспособлений. Вследствие этого расходы на специальные приспособления и инструмент невелики, и линия 1 начинается в точке с небольшой ординатой. Вместе с тем малая производительность труда ведет в этом варианте к повышенным расходам на зарплату, эксплуатацию оборудования и универсального инструмента и приспособлений. Поэтому линия нарастания затрат идет вверх более круто, чем в других вариантах.

Второй вариант технологического процесса (линия 2) характеризуется более широким использованием специальных приспособлений и инструмента. Это ведет к росту расходов на них, и линия 2 пересекает ось ординат в точке с большей величиной первоначальных расходов. Вследствие сокращения времени на изготовление изделия затраты во втором варианте с увеличением числа изготавливаемых изделий возрастают медленнее, чем в первом варианте. Это приводит к тому, что при некотором числе изделий, обозначенном N_{1-2} , линии 1 и 2 пересекаются.

Третий вариант технологического процесса составлен с ориентацией на широкое использование высокопроизводительного оборудования, сложных специальных приспособлений и инструментов, позволяющих сократить время изготовления изделия и расходы на материал. Поэтому в третьем варианте особенно велики первоначальные затраты и малы текущие расходы.

Таким образом, имеются три зоны программ выпуска:

- 1) до 1400 изделий, где наименьшую себестоимость обеспечивает первый вариант технологического процесса;
- 2) 1400—3000 изделий, в которой наименьшую себестоимость обеспечивает второй вариант;
- 3) свыше 3000 изделий, где предпочтение должно быть отдано третьему варианту.

Эффективность капитальных вложений

Эффективность капитальных вложений определяют при сравнении вариантов технологических процессов, в которых меньшая себестоимость получается в варианте, отличающемся от других использованием значительно более дорогого оборудования, инструментов и приспособлений. Необходимость такого анализа объясняется ограниченным фондом накоплений, который можно ежегодно выделять на обновление и улучшение техники (в частности, оборудования и оснастки). Вследствие этого на каждом предприятии оказываются временно нереализованными прогрессивные технологические процессы с минимальной себестоимостью. В этих случаях возникает вопрос: как лучше всего использовать новую более дорогую технику, для каких технологических процессов ее применять? Очевидно нужно стремиться к тому, чтобы суммарная себестоимость всей продукции предприятия или промышленности при данной величине фондов на обновление и улучшение техники была минимальной. Таким образом, предпочтение должно быть отдано тем технологическим процессам, которые при меньших дополнительных капиталовложениях позволяют получить наибольшее снижение себестоимости.

Показателем сравнительной экономической эффективности капитальных вложений является минимум так называемых приведенных затрат

$$C_i + k_n K_i = \min, \quad (3.29)$$

где C_i — технологическая себестоимость годового объема продукции для i -го варианта технологического процесса, р./год; K_i — средняя величина годовых капитальных вложений для i -го варианта процесса, р./год; k_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений по народному хозяйству в целом установлен на уровне не ниже 0,12. Из сравниваемых вариантов технологических процессов наиболее эффективным по капитальным вложениям является тот, для которого приведенные затраты, определяемые по формуле (3.29), минимальны.

Показателем эффективности капитальных вложений может являться также срок окупаемости τ :

$$\tau = \frac{1}{k_n} = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1}, \quad (3.30)$$

где C_1 и C_2 — себестоимость годового объема продукции по сравниваемым вариантам; K_1 и K_2 — капиталовложения по тем же вариантам.

Срок окупаемости показывает, в течение какого времени экономия от себестоимости составит величину, равную затратам на новую технику. Чем этот срок меньше, тем эффективнее капиталовложения. Превышение нормативного срока окупаемости означает, что экономия на себестоимости в более капиталоемком варианте недостаточна, и экономически целесообразнее направить вложения в другой процесс изготовления деталей.

Расчет капитальных вложений. При сравнении вариантов технологических процессов обычно учитывают капитальные вложения в оборудование, приспособления и инструмент.

Капитальные вложения в оборудование K_o . Капитальные вложения в универсальное оборудование определяют по формуле

$$K_{o. y} = C_{\phi} k_{н. о}, \quad (3.31)$$

где $k_{н. о}$ — коэффициент использования оборудования во времени. Этот коэффициент учитывает то обстоятельство, что оборудование в большинстве случаев не полностью загружено выполнением данной операции, и его используют также для изготовления других деталей. Капитальные вложения в оборудование распределяют между изготавливаемыми деталями или операциями пропорционально времени, в течение которого оборудование занято их выполнением

$$k_{н. о} = \frac{N_{год} t_{ш. н}}{\Phi k_3 k_{н}} = \frac{N t_{ш. н}}{\Phi \tau_1 k_3 k_{н}}, \quad (3.32)$$

где τ_1 — срок нахождения машины в производстве.

Капитальные вложения в специальное оборудование определяют по формуле

$$K_{o. с} = C_{\phi}. \quad (3.33)$$

Капитальные вложения в приспособления $K_{п.}$ Эти вложения определяются аналогично капитальным вложениям в оборудование.

Для универсальных приспособлений

$$K_{п. y} = \frac{C_{п. с}}{T_{п}} t_{ш. н} N. \quad (3.34)$$

Для специальных приспособлений

$$K_{п. с} = C_{п. с}. \quad (3.35)$$

Капитальные вложения в инструменты $K_{и.}$ Капитальные вложения в универсальный инструмент определяют по формуле:

$$K_{и. y} = \frac{t_M N}{T (n_{п} + 1)} C_{и. y}. \quad (3.36)$$

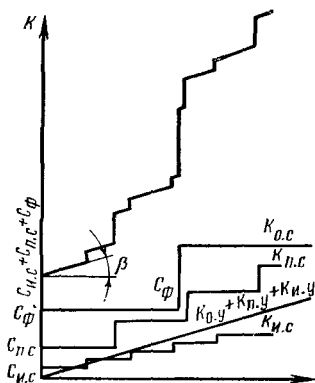


Рис. 3.6. Зависимость величины капиталовложений от числа изготавливаемых деталей

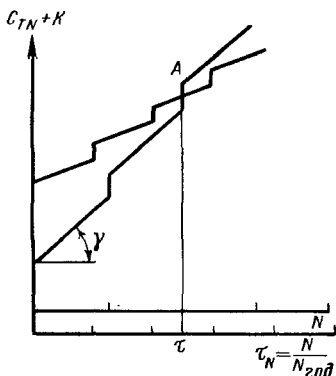


Рис. 3.7. Зависимость приведенных затрат от числа изготавливаемых деталей

Капитальные вложения в специальный инструмент можно определять по формуле

$$K_{и.с.} = Q_c C_{и.с.} \quad (3.37)$$

Изменение отдельных составляющих и суммарных значений капиталовложений по числу изготавливаемых деталей N приведено на рис. 3.6.

График изменения капиталовложений с ростом числа изготавливаемых деталей весьма схож с графиком изменения суммарных затрат и отличается углом подъема наклонных участков и величиной скачков для специального оборудования.

Сравнение вариантов технологических процессов по экономической эффективности капитальных вложений. Наиболее просто проводить сравнение эффективности капитальных вложений по формуле (3.29).

В случае необходимости определения срока окупаемости дополнительных капитальных вложений пользуются выражением, являющимся следствием формулы (3.30)

$$C_1 \tau + K_1 = C_2 \tau + K_2. \quad (3.38)$$

Произведения $C_1 \tau$ и $C_2 \tau$ представляют собой себестоимость объема продукции, соответствующего сроку окупаемости.

Выражение (3.38) можно трактовать следующим образом. Срок окупаемости определяется равенством сумм затрат по технологической себестоимости соответствующего объема продукции и капитальных вложений для сравниваемых вариантов технологических процессов. Для графического определения срока окупаемости капиталовложений строят графики суммарных затрат $C_{TN} + K$ для каждого из сравниваемых вариантов.

По оси абсцисс делают новую разметку в годах выпуска. Эту величину нетрудно определить при заданной годовой программе

$$\tau_N = \frac{N}{N_{\text{год}}}, \quad (3.39)$$

где τ_N — время выпуска N деталей при годовой программе $N_{\text{год}}$. Точка пересечения графиков $C_{\tau N} + K$ определяет срок окупаемости τ (рис. 3.7).

Рассмотренные экономические показатели технологических процессов (производительность труда, себестоимость продукции и эффективность капиталовложений) не являются единственными критериями выбора того или иного процесса. В отдельных случаях главную роль могут играть и другие. Для сборочных процессов большое значение может иметь использование производственных площадей. Нередко приходится учитывать и такие показатели, как расход дефицитных материалов, использование уникального и дефицитного оборудования, минимальные сроки подготовки производства и др.

Глава 4

ОСНОВЫ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Механизация и автоматизация проводятся главным образом для повышения производительности общественного труда, снижения себестоимости продукции, повышения ее качества, облегчения условий и повышения культуры труда. В ряде случаев автоматизация позволяет осуществить процессы, невыполнимые при ручном управлении.

Повышение производительности труда при автоматизации обеспечивается прежде всего интенсификацией режимов выполнения технологического процесса, сокращения затрат времени на контроль за ходом и управлением процесса, введения многостаночного обслуживания.

В большинстве случаев технологический цикл изготовления деталей, сборки узлов и агрегатов самолета состоит из подачи заготовок или собираемых элементов конструкции в зону обработки, их ориентации, фиксации и закрепления, собственно обработки, раскрепления, контроля результатов обработки и транспортировки изделий из зоны обработки,

При выполнении процессов термической обработки и образовании защитных и декоративных покрытий не требуются жесткая ориентация, фиксация и закрепление изделий в процессе обработки, однако общая структура технологического цикла сохраняется и в этом случае.

Конструкция изделий (заготовок, деталей, сборочных единиц) в значительной мере предопределяет возможность автоматизации технологических процессов их изготовления и сборки.

Стандартизация, нормализация и унификация геометрических размеров и форм являются важными предпосылками высокой эффективности механизации и автоматизации.

§ 2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУТП)

Виды АСУТП

Автоматической системой управления технологическим процессом называют совокупность управляемого объекта (УО) и автоматического управляющего устройства (АУУ).

Автоматическое управляющее устройство объединяет комплекс элементов, с помощью которых осуществляется автоматическое, без участия человека, управление процессом. Управление технологическим процессом может вестись без учета или с учетом действительного значения параметров, определяющих характер его протекания. В первом случае управление называется *независимым* или *несвязанным*, во втором — *зависимым* или *связанным*.

При независимом управлении необходимо иметь возможно более полную начальную информацию о технологическом процессе и условиях, при которых он выполняется.

В соответствии с изложенными двумя принципами управления все автоматические системы управления технологическими процессами разделяются на две большие группы: *рефлексные* (зависимые), *безрефлексные* (независимые). Безрефлексные системы также называются *циклическими*.

Циклические системы широко применяются для автоматизации процессов и оборудования, не требующих высокой точности управления. Различные виды этих систем применяются для автоматизации в крупносерийном и мелкосерийном производстве.

Рефлексные АСУТП также называются *ациклическими*. Работа этих систем определяется не заданным циклом, а правильностью выполнения каждого из его элементов. Только после того, как будет правильно выполнен предыдущий элемент цикла, система переходит к выполнению последующего элемента. Рефлексные системы делятся на *замкнутые* и *разомкнутые*.

Отличительной особенностью замкнутых систем является наличие обратной связи (ОС). Она дает возможность получить ин-

формацию об истинном значении параметров процесса без остановки работы УО.

Разомкнутые рефлексные АСУТП работают по внешнему возмущающему воздействию. Они как бы нейтрализуют внешние возмущающие воздействия и на этой основе поддерживают заданные значения параметров процесса.

В соответствии с ГОСТ 17194—76 по алгоритмам функционирования автоматические системы управления (АСУ) разделяются на *стабилизирующие, программные и следящие*.

Стабилизирующие АСУ поддерживают предписанное значение управляемой величины постоянным с заранее заданной точностью. Они применяются в тех случаях, когда требуется сохранить постоянным во времени значение какого-либо параметра процесса, например, температуры нагревательной печи.

Программная АСУ изменяет во времени управляемую величину в соответствии с заранее данной программой. Эти системы имеют широкое применение в промышленности при разнообразном конструктивном выполнении. Особо перспективны числовые системы программного управления (ЧСПУ).

Следящие АСУ обеспечивают заданное значение управляемой величины в зависимости от неизвестного заранее значения переменной величины, подаваемой на вход автоматической системы (АС). Разновидности этих систем широко применяют для автоматизации металлорежущего, сварочного, прессового и других видов оборудования.

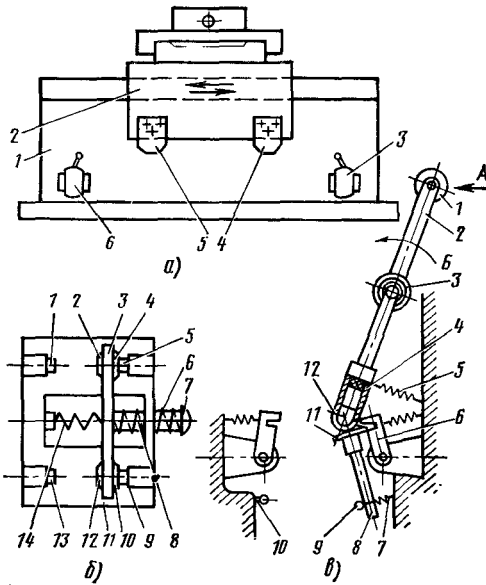
Автоматическая система управления технологическими процессами должна обеспечить получение продукции высокого качества при заданных экономических показателях, быстро без больших затрат времени и средств перенастраиваться на выполнение нового процесса, быть надежной, удобной и безопасной в работе.

Циклические АСУТП

К ним относятся системы управления упорами, кулачками с распределительными валами, копирами и с коммутаторными устройствами. Эти системы обеспечивают многократное выполнение заранее данного технологического цикла. Они применяются в токарно-револьверных автоматах, при автоматизации фрезерных, сверлильных, шлифовальных станков, процессов термической обработки, в гальваноавтоматах, некоторых конструкциях сварочных и клепальных машин.

На рис. 4.1 показана схема управления упорами и устройство нескольких типов путевых и концевых переключателей. На рабочем органе 2, перемещающемся по станине 1 некоторого вида технологического оборудования, установлены упоры 4 и 5 (см. рис. 4.1, а). В момент соприкосновения упора 5 с переключателем 6 происходит переключение цепи управления двигателя, и

Рис. 4.1. Автоматизация выполнения технологического цикла с помощью упоров:



а — общая схема; 1 — станина; 2 — рабочий орган; 3, 6 — переключатели; 4, 5 — упоры; б — устройство простого переключателя; 1, 2, 12, 13 — нормально разомкнутые контакты; 4, 5, 9, 10 — нормально замкнутые контакты; 3 — несущий мостик; 6, 8, 14 — пружины; 7 — пластмассовый шток; 11 — пластмассовая пластина; в — устройство моментного переключателя; 1 — ролик; 2 — рычаг; 3 — ленточные пружины; 4 — т.с.с.с.к.; 5 — возвратная пружина; 6 — защелка; 7, 8 — нормально замкнутые контакты; 9, 10 — нормально разомкнутые контакты; 11 — планка; 12 — ролик нижний

рабочий орган 2 начинает перемещение вправо. При соприкосновении упора 4 с переключателем 3 цикл повторяется в обратном направлении.

Путевые переключатели бывают трех видов: *простые, моментные и бесконтактные.*

Простые переключатели срабатывают постепенно по мере воздействия на них движущейся части оборудования, моментные — срабатывают мгновенно, как только воздействие достигнет заданной величины. Простые переключатели применяются при скорости движения свыше 0,4 м/мин. При меньших скоростях движения применяются моментные переключатели. Бесконтактные выключатели применяются для повышения надежности работы систем в условиях большого загрязнения.

Простой конечный переключатель, показанный на рис. 4.1, б, имеет пару нормально замкнутых (4, 5 и 9, 10) и пару нормально разомкнутых (1, 2 и 12, 13) контактов.

По завершении заданного перемещения движущаяся часть оборудования через стальной шток в корпусе (на схеме не показаны) нажимает на пластмассовый шток 7, который отводит несущий мостик 3 влево. При этом происходит размыкание контактов 4, 5 и 9, 10 и замыкание контактов 1, 2 и 12, 13.

Моментный переключатель (см. рис. 4.1, в) имеет два нормально замкнутых контакта 7 и 8, обеспечивающих перемещение рабочего органа по стрелке А. При нажатии подвижной части оборудования на ролик 1 рычаг 2 поворачивается по стрелке Б, увлекая за собой поводок 4. При этом ролик 12 отводит защелку 6 и поворачивает планку 11, приводит к размыканию контактов 7, 8 и замыканию контактов 9, 10. Происходит выключение одной цепи управления и замыкание другой. Набор ленточных пружин 3

обеспечивает связь между поводком 4 и рычагом 2. Пружина 5 возвращает переключатель в исходное положение. Разновидностью моментных переключателей являются микропереключатели, применяемые при очень малых (0,5 ... 0,7 мм) перемещениях.

Важнейшей характеристикой путевых переключателей является точность и частота срабатывания. Конструкции современных переключателей обеспечивают точность $\pm 0,05 \dots 0,1$ мм при 60 ... 100 срабатываний в минуту.

Кулачковые механизмы наиболее широко применяются в токарно-револьверных автоматах. Погрешности изготовления кулачков и передаточных механизмов компенсируются при настройке станков.

Изготовление кулачков и отладка кулачковых систем требуют большой затраты времени. Поэтому они применяются для автоматизации процессов в крупносерийном производстве и массовом производстве, когда не требуется частой переналадки станков.

В механических копирувальных системах (МКС) используются копии, изготовленные из высокопрочных сортов сталей. Вследствие этого трудоемкость изготовления копиров весьма велика. Автоматизация точения ступенчатого валика с помощью МКС показана на схеме (рис. 4.2). Копиром 1 задается программа поперечных перемещений $S_{п.п}$ штанги 3, несущей резец 4. Продольные перемещения $S_{пр.п}$ суппорта 2 осуществляются с постоянной скоростью от ходового винта станка. В результате продольных перемещений суппорта и поперечных перемещений штанги с резцом образуется заданный копиром профиль валика. Пружина 6 обеспечивает прижим штанги через палец 7 к копиру. Применение подобных устройств дает возможность изготовить ступенчатые валики с точностью $5 \cdot 10^{-5}$ мм по диаметру и $0,2 \times 10^{-3}$ мм по длине ступеней. Механические копирувальные устройства описанного вида могут применяться только для образования поверхностей, ограниченных плавными кривыми с углом подъема профиля не более 45° .

В качестве коммутаторов используются панели со штекерами, кнопками, переключателями и электрические командоаппараты. Схема коммутаторной панели штекерного типа показана на рис. 4.3.

Программа выполнения технологического цикла набирается штекерами, которые вставляются в гнезда 2, расположенные на панели 1. Каждое гнездо состоит из двух металлических полу-

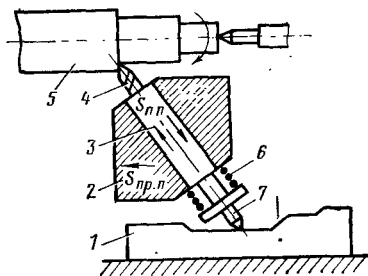


Рис. 4.2. Автоматизация точения ступенчатого валика с помощью механического копирования:

1 -- копир; 2 -- суппорт продольных подач; 3 -- штанга; 4 -- резец; 5 -- заготовка; 6 -- пружина; 7 -- копирующий палец

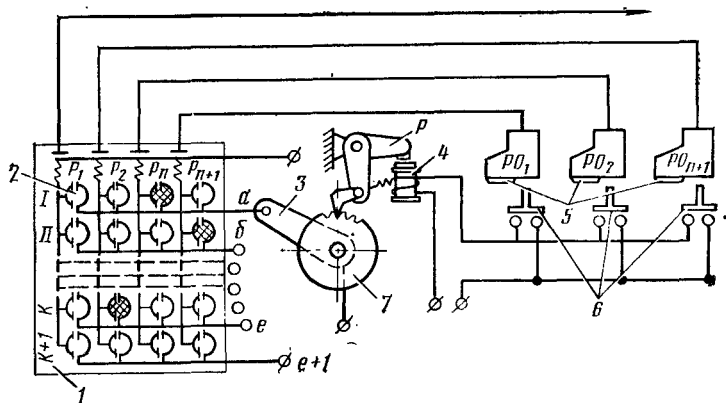


Рис. 4.3. Схема автоматизации перемещения рабочих органов (РО) с использованием коммутаторной панели штекерного типа:

1 — панель текстолитовая; 2 — гнезда; 3 — поворотный контакт; 4 — электромагнит; 5 — рабочие органы; 6 — концевые выключатели; 7 — храповое колесо

колец, изолированных друг от друга. К одному из полуколец напряжение подается через поворотный 3 и неподвижные контакты a, b, e и $e+1$. Другие половинки полуколец соединены с реле P_1, P_2, \dots, P_n и P_{n+1} , которые управляют приводами рабочих органов $PO_1, PO_2, \dots, PO_{n+1}$. Величина перемещения будет определяться установкой концевых выключателей 6 и упоров на рабочих органах 5. На схеме показана установка штекеров в гнезда, расположенные в I, II и K рядах (эти гнезда заштрихованы).

В положении, показанном на схеме, напряжение через поворотный контакт 3, неподвижный контакт a , правую половинку штекера и левую половинку гнезда в 1-м ряду попадает на реле P_n , с помощью которого включается привод рабочего органа PO_2 . В некоторый момент времени упор на PO_2 нажмет на средний из концевых выключателей 6. При этом замкнется цепь электромагнита 4 и рычаг через собачку повернет храповое колесо 7, а вместе с ним переместится и поворотный контакт 3. Привод PO_2 выключится, а PO_1 начнет перемещаться до встречи с левым концевым выключателем. Затем цикл повторится.

Штекеры могут устанавливаться по перфорированной карте. Такая карта представляет собой лист картона с пробитыми в нем отверстиями. Карта накладывается на панель при строгой ориентации относительно гнезд. По отверстиям в карте штекеры вставляются в гнезда. Системы с коммутаторами позволяют автоматизировать перемещения, составленные из отрезков прямых. Цикловые системы с коммутаторами легко перестраиваются на выполнение новых процессов. Они применяются для автоматизации токарных, фрезерных, сверлильных станков, при сварке швов, состоящих из отдельных прямых, а также в гальваноавтоматах.

Следящие копируемые системы (СКС)

Устройство простейшей СКС показано на рис. 4.4. Продольная подача S_3 стола 1 вертикально-фрезерного станка совершается с постоянной скоростью по направлению, показанному стрелкой, и называется *задающей*. Направление вертикальной подачи фрезы зависит от профиля копира. Эта подача называется *следящей*. Результирующая S_p подача фрезы определяется соотношением задающей и следящей подач.

При перемещении стола угол наклона касательной к профилю копира изменится и примет значение $\alpha_0 \neq \alpha$. Произойдет рассогласование углов наклона касательной к профилю копира в точке его соприкосновения со щупом и касательной к обрабатываемому контуру в точке фрезерования. При этом щуп 3 переместится относительно копируемого прибора 4, в котором будет сформирован сигнал, направленный на устранение возникшего рассогласования, путем изменения следящей подачи. Этот сигнал через усилитель 5 подается на двигатель 6, который будет работать до тех пор, пока значение результирующей подачи фрезы будет соответствовать значениям, заданным копиром. Обратная связь 7 жестко связывает шпиндельную головку 8 с корпусом копируемого прибора 4.

Копируемый прибор как бы следит за тем, чтобы направление и скорость перемещения рабочего органа соответствовали заданным параметрам. Поэтому эти системы и называются *следящими*. Копируемый прибор является важнейшим элементом СКС.

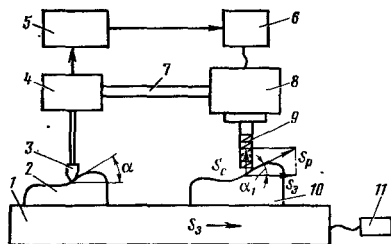
Схема копируемых приборов индуктивного и электроконтактного типов показана на рис. 4.5. Прибор индуктивного типа (рис. 4.5, а) имеет три индуктивных датчика ИД-1, ИД-2, ИД-3. Датчики ИД-1 и ИД-2 образуют плоскую систему координат, предназначенную для определения текущего угла копирования. Датчик ИД-3 корректирует отклонение вектора результирующей скорости от копируемой плоскости.

Первичные обмотки датчиков ИД-1 и ИД-2 получают напряжения, сдвинутые по фазе относительно друг друга на 90° .

В рабочем положении палец 1 отклоняется от среднего положения 0,0 на величину Δz по нормали к поверхности копира,

Рис. 4.4. Схема следящей копируемой системы:

1 — стол станка; 2 — копира; 3 — копируемый палец (щуп); 4 — копируемый прибор; 5 — усилитель; 6 — двигатель вертикальных подач; 7 — жесткая обратная связь; 8 — шпиндельная головка; 9 — фреза; 10 — заготовка; 11 — привод продольных подач



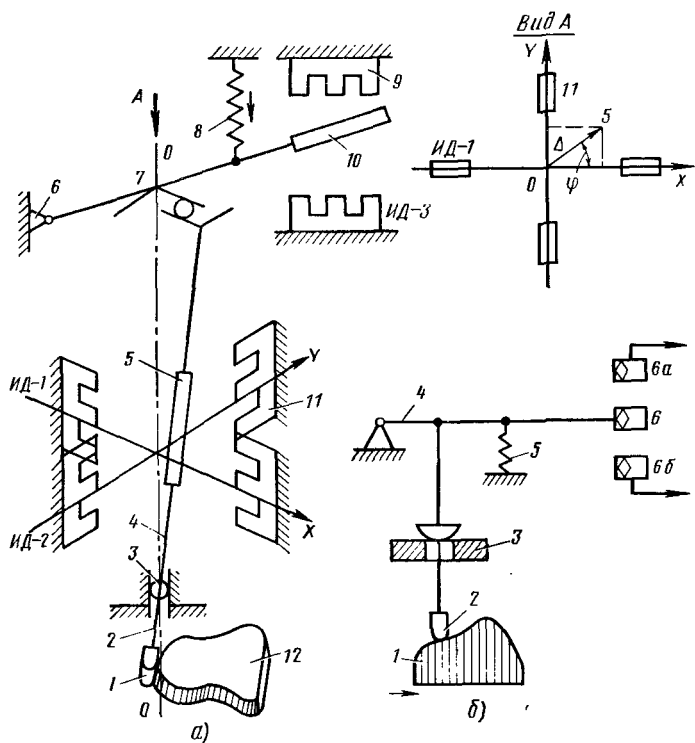


Рис. 4.5. Устройство копируальных приборов:

а — индуктивного типа; 1 — палец (шуп); 2 — ось прибора; 3, 7 — шарниры; 4 — шпindelь копируального прибора; 5, 10 — якоря индуктивных датчиков; 6 — ось якоря датчика ИД-3; 8 — пружина; 9, 11 — индуктивные датчики; 12 — копр; 6 — электроконтактного типа; 1 — копр; 2 — палец (шуп); 3 — корпус копируального прибора; 4 — рычаг; 5 — пружина; 6, 6а, 6б — электрические контакты

составляющей угол φ с осью X . Текущее значение этого угла однозначно определяется текущим значением угла копирования. Вместе с пальцем отклоняется якорь 5, вследствие чего изменяются индуктивность датчиков и напряжения U_x и U_y на их выходе.

Напряжение с датчиков ИД-1 и ИД-2 поступает в устройство, в котором оно раскладывается по осям X и Y , обеспечивая заданную скорость и направление перемещения рабочего органа.

Якорь 10 датчика ИД-3 обычно занимает среднее положение. При этом выходное напряжение датчика равно 0. При отклонении пальца 1 от среднего положения на выходе датчика появится напряжение, пропорциональное этому отклонению, используемое для поддержания постоянными значений вектора результирующей скорости перемещения центра копируального прибора и его расстояние до копра.

Электроконтактный датчик (рис. 4.5, б) работает по схеме включено — выключено, что обеспечивается подвижным контак-

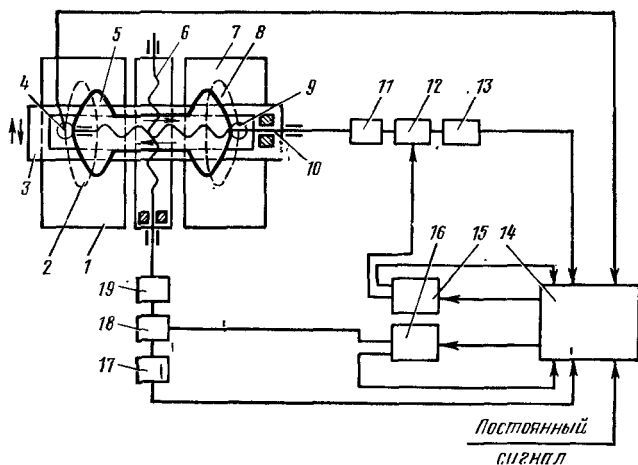


Рис. 4.6. Схема электромеханической следящей копировальной системы:
 1 — стол шаблонов; 2 — копия (шаблон); 3 — каретка продольных подач; 4 — копировальный прибор; 5 — каретка поперечных подач; 6 — ходовой винт продольных подач; 7 — рабочий стол; 8 — обрабатываемый контур; 9 — фрезерная головка; 10 — ходовой винт поперечных подач; 11, 19 — редукторы; 12 — электродвигатель поперечных подач; 13, 17 — тахогенератор; 14 — распределительное и корректирующее устройство; 15, 16 — электромагнитные усилители; 18 — электродвигатель продольных подач

том 6 и неподвижными 6а и 6б. Попеременным включением контактов обеспечивается пущная величина результирующей скорости подачи, соответствующей профилю копия.

Наличие копировального прибора в системе управления позволило отделить каналы управления от каналов рабочих усилий. При этом во много раз уменьшилась величина давления на поверхность копия со стороны копировального пальца.

В связи с этим появилась возможность изготавливать копии из легкообрабатываемых материалов: алюминиевых сплавов, мягких сортов стали, пластмасс, что существенно снизило трудоемкость и стоимость их изготовления и позволило использовать в мелкосерийном производстве.

В электромеханических СКС используются стандартные, хорошо освоенные промышленностью электрические и механические устройства: двигатели, электромагнитные муфты, усилители, преобразователи, редукторы. Они работают от обычной цеховой электрической сети и не требуют создания дополнительных источников энергии.

Схема электромеханической СКС для фрезерования замкнутого контура показана на рис. 4.6. На столе 1 укладываются шаблоны 2 (копии), а на столе 7 — пакет листов.

Направление и скорость результирующей подачи обуславливаются направлением и скоростью подачи кареток 3 и 5 (показаны стрелками). Копировальный прибор 4 и фрезерная головка 9 жестко установлены на каретке 5. Сигнал с копировального при-

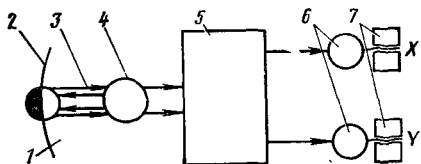


Рис. 4.7. Схема фотокопировальной системы:

1 — линия чертежа; 2 — световое пятно; 3 — прямые и отраженные поверхности копира (чертежа) лучи света; 4 — фотозапись на фотоэлементе копирующего устройства; 5 — усилительно-преобразовательное устройство; 6 — приводы; 7 — рабочие органы

бора 4 поступает в распределительное и корректирующее устройство 14. В этом устройстве сигнал распределяется по каналам продольных и поперечных перемещений с учетом информации, полученной от тахогенераторов 13 и 17 и постоянного сигнала, определяющего скорость подачи по контуру. Через электромашинные усилители 15 и 16 команды поступают на электродвигатели 12 и 18, которые через редукторы 11 и 19 и ходовые винты 6 и 10 перемещают каретки поперечных и продольных подач, обеспечивая перемещение фрезы по контуру 8. Эти системы обеспечивают скорость перемещения рабочего органа до $1 \cdot 10^{-2}$ м/с при точности $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ м от линии контура.

Схема фотокопировальной системы показана на рис. 4.7. Копиром в ней служит линия чертежа 1. Отражаясь от поверхности копира, занятой линией чертежа или свободной от линии, лучи света разной интенсивности попадают на фотозапись 4 копирующего прибора. Каждый световой импульс, попадаемый на фотозапись, характеризуется длительностью, которая определяется величиной смещения светового пятна относительно линии чертежа и направлением (фазой) этого смещения. В соответствии с этим фотозапись будет выдавать импульсы фототока, различные по величине и фазе. Эти импульсы поступают в усилительно-преобразовательное устройство 5, а отсюда на приводы 6 продольных и поперечных подач рабочих органов 7.

Эти системы не получили широкого применения, так как оказалось, что сделать точный чертеж контура больших размеров — задача чрезвычайно трудная, а иногда и невыполнимая. В связи с этим они применяются только в газорезательных автоматах, где не требуется высокая точность обработки.

§ 3. ЧИСЛОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ (ЧСПУ)

Общая характеристика и область применения ЧСПУ

Создание числовых систем программного управления технологическими процессами явилось прямым следствием потребностей автоматизации мелкосерийного производства.

Сущность числового программного управления состоит в том, что информация, необходимая для выполнения технологического процесса, преобразуется в код чисел, наносится на легкоменяемый программноноситель, а затем в соответствующих устрой-

ствах управляемого объекта преобразуется в управляющие сигналы.

Основой для разработки программы является тщательно разработанный технологический процесс и переработанный чертеж детали. Переработка чертежа состоит в выделении характерных ее точек (перемещения линий, сопряжения поверхностей, центров отверстий и окружностей) и простановке в единой системе координат этих точек.

Различают три этапа подготовки программы: технологический, математический, изготовление программноносителя. На первом из них проводится переработка чертежа и подробная разработка технологического процесса. На втором выполняется аппроксимация (чаще линейная) обрабатываемого контура и определяется закон перемещения инструмента. На последнем этапе информация о перемещениях инструмента в виде кода чисел наносится на программноноситель.

Разработка программы требует больших затрат времени. Для снижения трудоемкости и повышения качества подготовки программ следует автоматизировать сам процесс программирования с помощью ЭВМ.

Оборудование, оснащенное числовыми системами легко переналаживается на обработку новых или выполнение других технологических процессов при смене объектов производства. Переход к выполнению новых процессов или обработке других изделий в основном сводится к смене старого и установке нового заранее подготовленного программноносителя. Применение ЧСПУ позволяет интенсифицировать режимы обработки, сократить затраты вспомогательного времени, применить многостаночное обслуживание и на этой основе существенно повысить производительность труда.

Наиболее целесообразно применение оборудования с ЧСПУ для автоматизации трудоемких технологических процессов для изготовления деталей сложной формы.

В настоящее время ЧСПУ наиболее широко используются в металлорежущих станках. Они все больше применяются для автоматизации испытательных стендов, сварочного, прессового, клепального и термического оборудования.

Программноносители и системы счисления

В качестве программноносителей ЧСПУ используются перфокарты, перфоленты и магнитные ленты. Стандартные 80-колоночные карты применяются для записи небольшого объема информации, который характерен для простых технологических процессов.

Перфорированные ленты в настоящее время являются основным видом программноносителя. Применяются бумажные ленты или ленты на пластмассовой основе. Последние изготавливаются наклеиванием с двух сторон тонких слоев плотной бумаги на

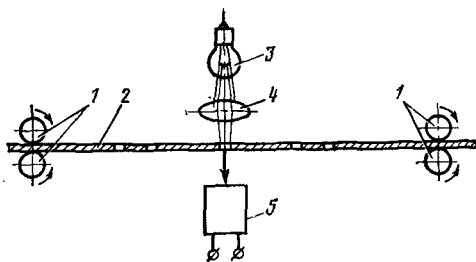


Рис. 4.8. Схема фотоэлектрического считывающего устройства:

1 — механизм подачи ленты; 2 — перфорированная лента; 3 — осветитель; 4 — линза; 5 — фотоэлемент

с линзой 4 и фотоэлементом 5. Механизмом 1 перфорированная лента 2 подается между источником света с линзой и фотоэлементом. Когда отверстие, пробитое в ленте, проходит между осветителем и фотоэлементом, свет от источника через линзу и отверстие в ленте попадает на фотоэлемент. Возникает импульс фототока, который используется для управления.

Для считывания программы, записанной на магнитной ленте, используются магнитные головки. Магнитная головка (рис. 4.9) состоит из сердечников 3 и обмотки 4. Сердечники состоят из двух полуколец, каждое из которых набирается из тонких металлических пластин, обладающих большой магнитной проницаемостью. Между полукольцами имеется рабочий зазор δ_1 и задний зазор δ_2 .

Магнитная лента 5 состоит из подложки (основы) 1 и ферромагнитного слоя 2. В качестве основы используется бумажная или пластмассовая лента. Ферромагнитный слой образуется нанесением суспензии мельчайших частиц магнитного порошка (Fe_2O_3 , CO_2O_3) в лаке. Затем поверхность этого слоя полируется. Запись программы на магнитной ленте основана на свойстве окиси железа, кобальта и некоторых других материалов сохранять местное намагничивание после удаления его источника.

При считывании лента пропускаясь под рабочим зазором головки по стрелке А. При этом в сердечнике возникает перемещенный магнитный поток, который наводит

пластмассовую основу, что повышает прочность и долговечность ленты.

Программа, записанная на перфокартах и перфолентах, считывается фотоэлектрическими, электро-механическими или пневматическими считывающими устройствами. Чаще используются фотоэлектрические считывающие устройства (рис. 4.8). Они состоят из механизма 1 подачи ленты, осветителя 3

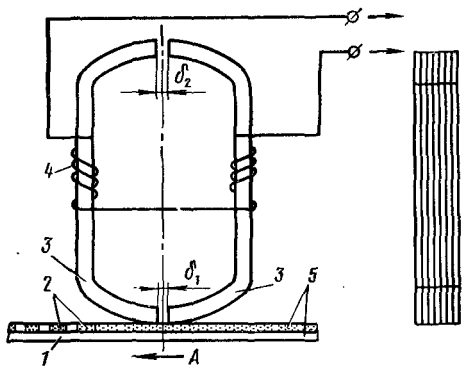


Рис. 4.9. Магнитная головка для считывания программы, записанной на магнитной ленте:

1 — подложка (основа); 2 — ферромагнитный слой; 3 — сердечник; 4 — обмотка; 5 — магнитная лента

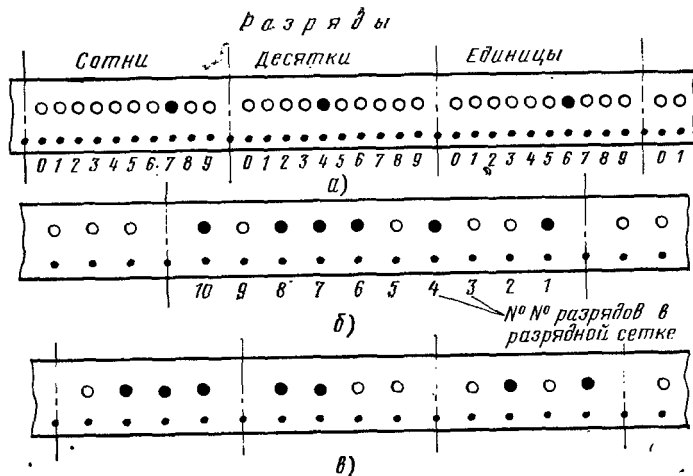


Рис. 4.10. Примеры записи числа на перфоленте:

а — в десятичной системе; б — в двоичной; в — в десятично-двоичной системах счисления;
 ○ — позиция без отверстия; ● — позиция с пробитым отверстием; • — пробитые отверстия транспортной дорожки

в обмотке переменную ЭДС, используемую для управления. При записи программы напряжение подается на обмотку 4 магнитной головки.

Сигналы, записанные на магнитную ленту, весьма чувствительны к помехам. Источниками помех являются внешние магнитные поля, колебания напряжений в сети, непостоянство скорости или перекосы при перемещении ленты, неоднородность структуры магнитного слоя ленты. Эти помехи существенно снижают точность записи и воспроизведения программы, ограничивают применение магнитной ленты.

Применяемые при подготовке программ коды разработаны на основе десятичной, двоичной или десятично-двоичной систем счисления.

Как известно, некоторое число N может быть представлено в виде суммы вида

$$N = x_1 a^{n-1} + x_2 a^{n-2} + \dots + x_n a^0, \quad (4.1)$$

где a — основание принятой системы счисления; x — значащая цифра в соответствующем разряде числа: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9; в зависимости от принятой системы счисления используются или все эти цифры, или часть из них; n — количество разрядов в числе, считая справа—налево.

На рис. 4.10 показаны примеры записи числа 745 в различных системах счисления.

Для записи числа в десятичной системе (рис. 4.10, а) нужно иметь $10n$ позиций. При этом используется (пробиваются отверстия) только n позиций. Считывающие устройства в этом случае

получаются сложными, так как они должны иметь 10n позиций для считывания. В двоичной системе основанием системы является число 2.

Для перевода десятичного числа в двоичную систему составляется разрядная сетка:

Номера разрядов	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Степенный ряд числа 2	2 ⁹	2 ⁸	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
Числа	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

Из ряда числовых значений выбираются такие числа, сумма которых дает значение заданного десятичного числа. Для того чтобы представить число 745 в двоичной системе, нужно взять сумму чисел $512 + 128 + 64 + 32 + 8 + 1 = 745$.

После этого в разрядах, из которых мы взяли числа, поставим знак 1 (единицу), а в разрядах, из которых числа не брали, поставим знак 0 (нуль) (см. рис. 4.10, б). Записав значение этих знаков в том порядке, как они расположились в разрядной сетке, получим двоичный код числа 745: 1011101001.

На перфоленте единица двоичного кода числа изображается пробитым отверстием, а нуль — отсутствием пробитого отверстия (пропуском).

Недостатком двоичной системы по сравнению с десятичной является сложность перевода чисел в эту систему, а также большое количество знаков, необходимых для изображения числа. Двоичный код существенно упрощает систему управления, так как число элементов вычислительного устройства в этом случае примерно в 1,5 раза меньше, чем при десятичной системе. Кроме того, считывающие устройства с двумя устойчивыми положениями (нуль и единица) конструктивно проще, а значит, как правило, и более надежны, чем устройства с десятью устойчивыми положениями, которые требуются при десятичной системе счисления.

В десятично-двоичной системе сохраняются разряды десятичной, а каждая значащая цифра разряда записывается в двоичной системе. Число 745 запишется совокупностью записей цифр в двоичной системе: 7 — 0111; 4 — 0100; 5 — 0101 (см. рис. 4.10, в).

Десятично-двоичная система требует большего числа двухпозиционных элементов, чем двоичная. Поэтому она менее экономична, чем двоичная, но запись по этой программе более компактна, чем при десятичной системе. Чаще она используется для записи больших (пяти-, шестизначных чисел) *.

Виды ЧСПУ

В одних случаях рабочий орган (изделие) должен быть установлен в точку с заданными координатами до совершения рабочих перемещений. Так, чтобы получить отверстия с координатами

* Станки с программным управлением /Г. А. Монахов, А. А. Оганян, Ю. Н. Кузнецов и др. — М.: Машиностроение, 1975. 288 с.

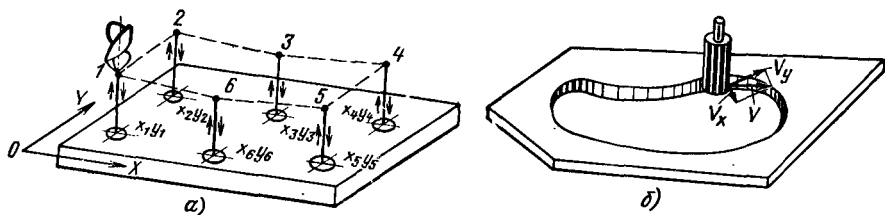


Рис. 4.11. Виды перемещений рабочих органов:

а — при сверлении отверстий; б — при фрезеровании замкнутого криволинейного контура

их центров $x_1y_1, x_2y_2, \dots, x_6y_6$ (рис. 4.11, а), сначала следует выставить инструмент в точку с этими координатами, а потом уже произвести рабочее перемещение сверла по вертикали. Так же решается задача при постановке сварочной точки и заклепки. В этих случаях основной задачей управления будет точное выполнение холостых ходов.

При выполнении других процессов главной задачей управления будет точное осуществление рабочих ходов. Так будет при фрезеровании криволинейного контура (рис. 4.11, б), выполнении криволинейного сварочного шва.

В соответствии с этим ЧСПУ, осуществляющие автоматическое перемещение изделия (инструмента) в заданную позицию, называют позиционными, а ЧСПУ, автоматизирующие перемещение по сложным криволинейным (плоским и пространственным) траекториям, называются *контурными*.

Особую группу составляют адаптивные автоматические системы управления.

Позиционные ЧСПУ

Различают три вида позиционных ЧСПУ: *кодовые, счетно-импульсные и аналоговые* (рис. 4.12).

Все они содержат задающие устройства (ЗУ), с помощью которых программа, записанная на перфоленте (ПЛ), вводится в систему управления.

Считанные с ПЛ сигналы поступают в устройства сравнения и преобразования (УС, ЦАП). В этих устройствах выполняется сравнение сигналов, поступивших с ЗУ, и сигналов, поступивших с датчиков обратной связи (КДП, ИДП, АДП). В результате этих действий в блок управления силовым приводом поступают команды на управление силовым приводом, который через редуктор перемещает рабочий орган в точку с заданными координатами.

Современные ЧСПУ обеспечивают позиционирование с точностью $0,005 \dots 0,1$ мм.

Позиционные ЧСПУ более просты по устройству, чем контурные. Они применяются для автоматизации сверлильных, расточ-

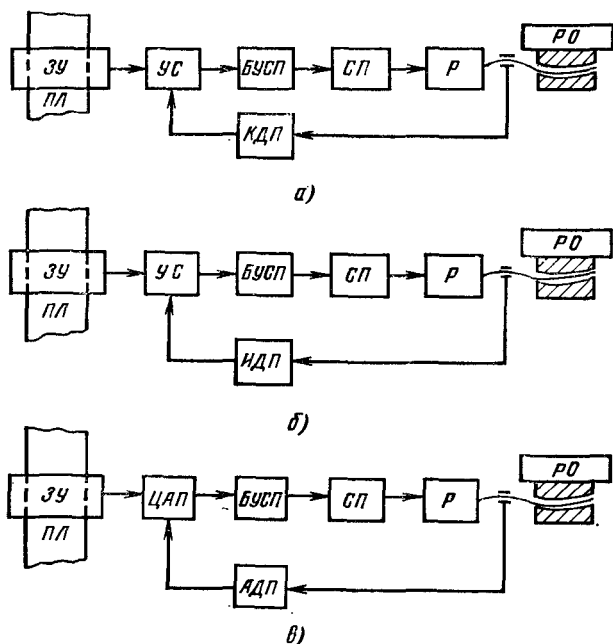


Рис. 4.12. Принципиальные схемы позиционных ЧСПУ:

а — кодовая с абсолютным отсчетом координат; *б* — счетно-импульсная; *в* — аналоговая; ЗУ — задающее устройство; ПЛ — перфолента; УС — устройство сравнения; ЦАП — цифровой аналоговый преобразователь; БУСП — блок управления силового привода; СП — силовой привод; Р — редуктор; РО — рабочий орган; КДП — кодовый датчик перемещений; ИДП — импульсный датчик перемещений; АДП — аналоговый датчик перемещений

ных, некоторых видов фрезерных станков, для смены инструмента в обрабатывающих центрах, в сварочных и клепальных автоматах.

Кодовые ЧСПУ или системы с абсолютным отсчетом координат нашли наиболее широкое применение (см. рис. 4.12, *а*). Перемещение РО осуществляется путем сравнения кода числа, выражающего координату точки позиционирования, с кодом координаты точки промежуточного положения РО, выдаваемого кодовым датчиком перемещений (КДП). Если коды этих чисел не совпадают, то вырабатывается сигнал на перемещение РО. В момент совпадения заданного и действительного значений координаты РО перемещения прекращаются.

Схема фотоэлектрического кодового датчика показана на рис. 4.13. При некотором положении РО свет от источника 1 через отверстие в измерительной шкале 2 и решетке 3 через линзу 4 попадает на фотоприемники 5. Взаимное положение шкалы 2 и решетки 3, определяемое положением РО в каждый момент времени, образуют путем засвечивания соответствующих фотоприемников кода числа, определяющего координаты РО. Этот

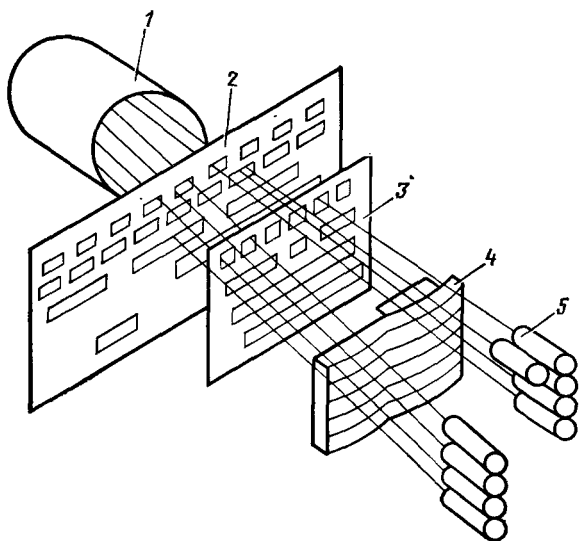


Рис. 4.13. Схема фотоэлектрического кодового датчика перемещений:

1 — источник света; 2 — измерительная шкала; 3 — решетка; 4 — цилиндрические линзы; 5 — фотоприемники

код в виде сигналов фототока и поступает в УС для сравнения с кодом, считанным с ПЛ.

Счетно-импульсные позиционные системы (рис. 4.12, б) в качестве датчиков обратной связи имеют импульсные датчики перемещений (ИДП). Эти системы также называются *системами с относительным отсчетом координат*. Программа задается в виде последовательного ряда импульсов, каждый из которых определяет одно перемещение РО.

Заданный код числа импульсов хранится в устройстве сравнения. Сюда же подается информация от ИДП о действительном перемещении РО, выраженная в числе импульсов. В УС происходит сложение (вычитание) заданного и действительного чисел импульсов, в результате чего подается команда на перемещение РО. При равенстве заданного и действительного чисел импульсов происходит останов.

По конструкции эти системы проще кодовых из-за более простых датчиков и отсутствия устройств для сравнения и преобразования кодов чисел.

Аналоговые позиционные ЧСПУ (рис. 4.12, в) отличаются от двух рассмотренных тем, что перемещения у них задаются, и информация об их действительной величине поступает от аналогового датчика перемещений (АДП) в аналоговой форме.

Аналогами чисел, характеризующих перемещения, обычно выбираются напряжение, фаза или величина электрического тока. По форме отчета эти системы относятся к системам с абсолютным отсчетом координат. Датчиками обратной связи (АДП) обычно бывают фазовые или потенциометрические устройства. Основным достоинством этих систем является их высокая надежность в работе.

Контурные ЧСПУ

Подготовка программ для контурных ЧСПУ весьма трудоемка, требует большого объема вычислений по определению координат точек и величин их приращения. Поэтому для получения наибольшего эффекта от применения контурных ЧСПУ необходима автоматизация процессов подготовки самих программ с помощью ЭВМ.

Точность перемещения, обеспечиваемая этими системами, находится в пределах $0,005 \dots 0,1$ мм.

По виду сигналов, используемых для управления, различают системы с импульсной и фазовой формами ввода.

В системах с **импульсной формой** ввода программы перемещения РО задаются последовательным рядом электрических импульсов. Общее число поданных импульсов означает величину, а частота подачи — скорость перемещения.

Разновидностью импульсных ЧСПУ является шагово-импульсная система (рис. 4.14). Лентопротяжный механизм (ЛПМ) протягивает магнитную ленту (МЛ) под рабочими зазорами блока магнитных головок (МГ). Сигналы, считанные магнитной головкой, подаются на усилители считывания (УС). В блоках БРИ производится распределение импульсов по фазам электрического шагового двигателя (ЭШД) таким образом, что на каждую из его обмоток последовательно поступают электрические сигналы, усиленные в устройствах (УМ).

При получении каждого импульса вал ЭШД поворачивается на один элементарный угол. Поворот вала ЭШД гидроусилителем момента (ГУМ) усиливается по мощности и с помощью редуктора Р и ходового винта преобразуется в перемещение рабочего органа РО.

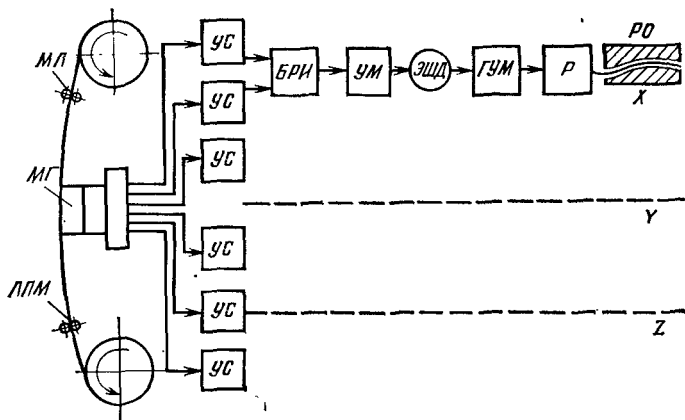
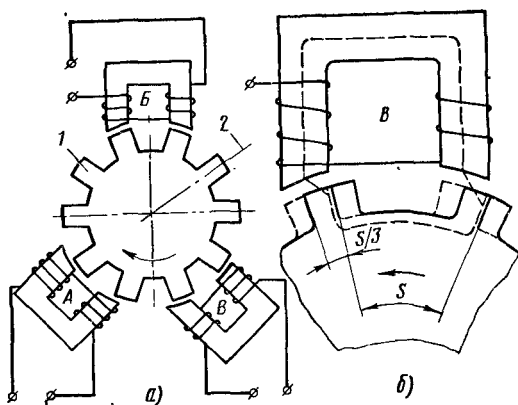


Рис. 4.14. Схема шагово-импульсной ЧСПУ:

ЛПМ — лентопротяжный механизм; МЛ — магнитная лента; МГ — блок магнитных головок; УС — усилитель считывания; БРИ — блок распределения импульсов; УМ — усилитель мощности; ЭШД — электрический шаговый двигатель; ГУМ — гидроусилитель момента; Р — редуктор; РО — рабочий орган

Рис. 4.15. Электрический шаговый двигатель:

a — схема устройства; *б* — взаимное расположение полюсов электромагнита «В» и зубцов ротора; 1 — зубчатый ротор; 2 — вал ЭШД; А, Б, В — полюса электромагнитов



Характерной особенностью шагово-импульсных систем является наличие электрического шагового двигателя (рис. 4.15). Он состоит (см. рис. 4.15, *a*) из статора с тремя электромагнитами А, Б, В и зубчатого ротора 1, жестко посаженного на вал 2. Каждый из электромагнитов сдвинут друг относительно друга на целое число шагов плюс $1/3$ шага. Под шагом S понимается угол между зубцами ротора (см. рис. 4.15, *б*). Расстояние между полюсами электромагнитов равно расстоянию между зубцами.

В некоторый момент времени полюса электромагнита В установлены относительно зубцов ротора так, как показано на рис. 4.15, *б*. В это время зубцы ротора сдвинуты относительно полюсов электромагнита А на $2/3$ шага, а на электромагните Б будут совпадать друг с другом. Напряжение подается, например, поочередно на электромагниты В, А, Б. Так, когда под напряжением оказалась обмотка электромагнита В, ротор 1, а следовательно, и вал 2 повернуться на $1/3S$. То же самое произойдет и при последующей подаче напряжения на электромагниты А и Б. Эти единичные перемещения будут передаваться через гидросилитель моментов и редуктор на ходовой винт рабочего органа. Каждый один поворот ротора на $1/3$ шага (на $0,75^\circ$, $1,5^\circ$ или 3° в зависимости от вида ЭШД) будет сообщать рабочему органу одно элементарное перемещение.

ЧСПУ с шаговыми двигателями обеспечивают точность обработки в пределах $\pm 10^{-5}$ м.

Системы с импульсной формой ввода программы применяются для автоматизации металлорежущих станков и в сварочных автоматах.

В системах с фазовой формой ввода программы перемещения РО задаются сигналами, модулированными по фазе:

$$U_o = U \sin \omega t; \quad (4.2)$$

$$U_p = U \sin (\omega t + \varphi), \quad (4.3)$$

где U_0 — напряжение опорного сигнала; U_p — то же, рабочего сигнала; U — амплитуда напряжения; ω — частота; t — время; φ — угол сдвига фазы рабочего сигнала.

Сигналы опорного напряжения записываются на одной дорожке и являются общими для рабочих сигналов, записанных на других дорожках той же магнитной ленты.

Величина программируемых перемещений S связана с углом сдвига фазы φ зависимостью

$$\varphi = \frac{2\pi}{L} S, \quad (4.4)$$

где L — величина перемещения РО за один полный оборот фазы (цена оборота фазы).

Системы с фазовой формой ввода относятся к системам непрерывного действия. Поэтому пропуск одного сигнала приводит к появлению лишь местных ошибок и не сказывается на точности последующих перемещений.

Запись программы в виде сигналов, модулированных по фазе, дает возможность нанести на единицу поверхности ленты значительно больше информации, чем в системах с импульсной формой ввода, что позволяет уменьшить расход ленты или увеличить длительность непрерывного цикла обработки.

Специализированные фрезерные станки, предназначенные для обработки крупногабаритных заготовок, оснащены именно фазовыми ЧСПУ.

Схема фазовой системы для управления по одной координате показана на рис. 4.16. Рабочий и опорный сигналы считываются с магнитной ленты МЛ магнитными головками $МГ_p$ для считывания рабочего и $МГ_0$ для считывания опорного сигналов. После усиления в усилителе УС рабочий сигнал поступает в сравнивающее устройство ФД, которым здесь является фазовый дискриминатор; УМ — усилитель мощности; ЗОЛ — управляющий золотник; ГД — гидродвигатель; Р — редуктор; РО — рабочий орган; ВТ — вращающийся трансформатор; У — усилитель; УС₀ — усилитель считывания опорного сигнала

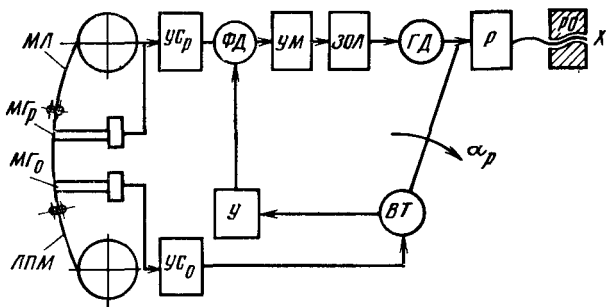


Рис. 4.16. Схема системы с фазовой формой ввода:

ЛПМ — лентопротяжный механизм; $МГ_0$ — магнитная головка считывания опорного сигнала; $МГ_p$ — магнитная головка считывания рабочего сигнала; МЛ — магнитная лента; УС_р — усилитель считывания рабочего сигнала; ФД — фазовый дискриминатор; УМ — усилитель мощности; ЗОЛ — управляющий золотник; ГД — гидродвигатель; Р — редуктор; РО — рабочий орган; ВТ — вращающийся трансформатор; У — усилитель; УС₀ — усилитель считывания опорного сигнала

натор. Опорный сигнал через усилитель $УС_0$ подается в трансформатор ВТ, который является датчиком обратной связи. Через усилитель $У$ в фазовый дискриминатор подается напряжение, характеризующее истинную величину перемещения рабочего органа РО.

После сравнения и преобразования в ФД сигнал через усилитель УМ попадает на обмотку золотника ЗОЛ, который управляет гидродвигателем ГД. Гидродвигатель через редуктор Р сообщает необходимые перемещения РО.

В числовых системах с фазовой модуляцией в качестве датчиков обратной связи используются поворотные трансформаторы, являющиеся по существу небольшими электрическими машинами переменного тока. Следует заметить, что в последнее время используются комбинированные ЧСПУ, сочетающие в себе свойства позиционных и контурных систем.

Адаптивные системы управления

Вследствие наличия возмущений (различная твердость материала и величина припусков, вибрации, температура) процесс управления, рассчитанный под некоторые усредненные условия, не обеспечивает получение оптимальных параметров. В связи с этим созданы автоматические системы, учитывающие влияние внешних возмущений на протекание процесса. Такие системы называются адаптивными (рис. 4.17).

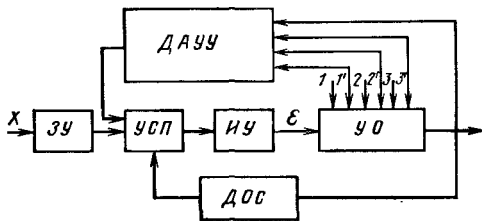
Они содержат дополнительное автоматическое управляющее устройство (ДАУУ), которое представляет собой сложную систему датчиков, вычислительных и оптимизирующих устройств. Сигнал X попадает в устройство сравнения и преобразования УСП, где происходит его корректировка с учетом информации, полученной от датчика обратной связи ДОС о состоянии УО и информации от ДАУУ о внешних воздействиях на объект.

При этом вырабатывается такое управляющее воздействие ϵ на УО, которое обеспечивает оптимизацию выполнения процесса. Основой для разработки адаптивных систем является глубокое знание физической сущности процессов, для управления которыми они создаются. Необходимо знать не только характер протекания процесса, но и все возможные внешние воздействия на него.

Далее следует получить аналитические зависимости, которые связывают критерии оптимальности с параметрами, определя-

Рис. 4.17. Схема адаптивной системы управления:

ЗУ — задающее устройство; УСП — устройство сравнения и преобразования; ИУ — исполнительное устройство; УО — управляемый объект; ДОС — датчик обратной связи; ДАУУ — дополнительное автоматическое устройство; 1, 2, 3, ... — внешние возмущающие воздействия; 1', 2', 3', ... — информация о внешних возмущениях



ющими характер протекания процесса. На основании полученных зависимостей можно определить структуру АСУТП.

Адаптивные системы уже теперь применяются для управления металлорежущим, термическим и другими видами технологического оборудования. Следует ожидать их более широкого применения.

Непосредственное управление станками от ЭВМ

Непосредственное управление станками от ЭВМ (НУС ЭВМ) сокращает сроки подготовки программы, упрощает системы управления станками, снижает стоимость технологического оборудования с ЧСПУ, позволяет оптимизировать процесс. Вследствие этого сокращаются сроки запуска изделий в производство, расширяется область и увеличивается экономическая эффективность применения оборудования с ЧСПУ. При использовании НУС ЭВМ вычислительной машине передаются функции управления станками, в результате чего упрощается система управления каждого станка. Различают два типа НУС ЭВМ (рис. 4.18). В системах первого типа (рис. 4.18, а) управление группой станков ведется от центральной ЭВМ большой мощности. В этом случае ЭВМ не только управляет станками, но и решает задачи диспетчерования, сбора и обработки информации для управления другими процессами.

Подготовленная на перфоленге программа 1 вводится в ЭВМ, которая проводит необходимые расчеты, а затем через упрощенный блок управления 2 управляет силовыми приводами 3 и через них рабочими органами станков 4.

Рассмотренная схема требует мощных ЭВМ и существенной перестройки производственного процесса. Поэтому пока они широкого применения не нашли.

Управление станком или группой (1 ... n) станков от мини-ЭВМ в настоящее время применяется шире (рис. 4.18, б). В этом случае в систему включаются малые ЭВМ, управляющие через упрощенный блок управления 2 работой силовых приводов 3, а через них и перемещением рабочих органов 4. Мини-ЭВМ заняты только управлением станками, чем упрощается их использование.

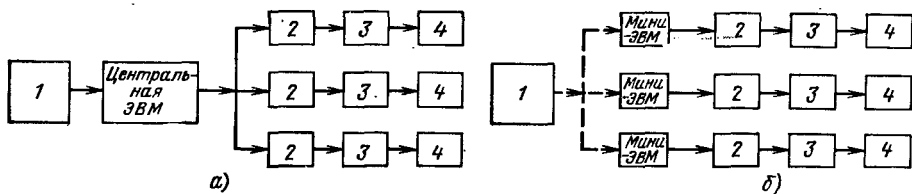


Рис. 4.18. Схемы непосредственного управления станками от ЭВМ:

а — с центральной ЭВМ; б — с мини-ЭВМ; 1 — подготовка программы для ЭВМ; 2 — блок управления приводами; 3 — силовые приводы; 4 — станки; 1 ... n — число одновременно управляемых станков

НУС ЭВМ с помощью дисплея и графопостроителей позволяют вести контроль программы и ее корректирование. Непосредственное управление станками от ЭВМ, все более широкое использование оборудования с обычными ЧСПУ являются важнейшими направлениями автоматизации технологических процессов в самолетостроении.

§ 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ

Автоматизация контроля является основным методом повышения его качества, снижения трудоемкости. Она предусматривает создание полностью или частично автоматизированных средств контроля, а в последнее время и систем централизованного контроля. Такие системы, создаваемые на базе мощных ЭВМ, позволяют получать оперативную информацию о ходе технологического процесса и оказывать быстрое воздействие на характер его протекания в соответствии с заданными требованиями.

Автоматизации должна предшествовать разработка типовых операций самого процесса контроля. Типизация процессов контроля позволяет сократить номенклатуру потребных средств контроля, выявить наиболее совершенные и перспективные средства и методы контроля и на этой основе сократить трудоемкость и повысить качество контроля.

Особенно важной является автоматизация процессов контроля бортовых систем оборудования. При возросшей сложности этих систем, большом числе контролируемых параметров только автоматизация этих процессов может обеспечить высоконадежные результаты контроля.

В соответствии со структурой технологических процессов изготовления самолетов и вертолетов, механизация и автоматизация процессов контроля проводится по следующим основным направлениям:

создание устройств для неразрушающего контроля сплошности материалов и соединений, применяемых в конструкциях планера;

разработка и внедрение адаптивных систем управления технологическими процессами, обеспечивающих автоматическое получение оптимальных параметров, качества изделий;

создание автоматов с ЧСПУ для контроля изделий, изготовленных на оборудовании с этими системами;

разработка и внедрение систем контроля в процессе обработки; такие системы позволяют получать информацию о ходе процесса и на ее основе без остановки процесса проводить его подналадку;

разработка и широкое использование автоматизированных стендов и систем централизованного контроля бортовых систем оборудования самолетов и вертолетов.

Активный контроль в процессе обработки является наиболее прогрессивным видом контроля. Различают два вида автоматического активного контроля в процессе обработки (рис. 4.19).

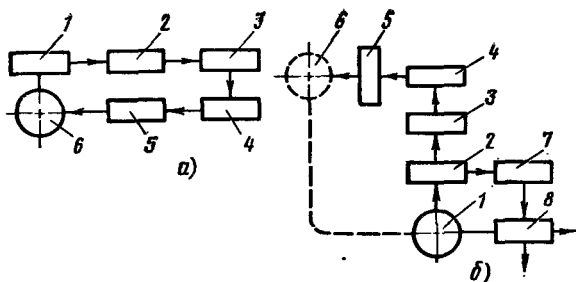


Рис. 4.19. Схемы автоматического активного контроля:

а — в процессе обработки; 1 — датчик; 2 — преобразователь; 3 — усилитель; 4 — привод; 5 — рабочий орган с инструментом; 6 — обрабатываемое изделие; б — после обработки; 1 — деталь на измерительной позиции; 2 — датчик; 3 — усилитель; 4 — привод; 5 — рабочий орган с инструментом; 6 — деталь на рабочей позиции; 7 — усилитель; 8 — сортирующее устройство

По схеме, изображенной на рис. 4.19, а контроль размеров изделия 6 выполняется в процессе обработки непосредственно на рабочей позиции. Непрерывно или в заданные промежутки времени измерительное устройство 1 подает информацию об истинных размерах изделия 6. При достижении предельно допустимых значений размеров эта информация чаще всего в виде электрических сигналов поступает через преобразующее 2 и усиливающее 3 устройства на привод 4 рабочего органа.

В соответствии с этой информацией привод перемещает рабочий орган 5 с инструментом. Недостатком рассмотренной схемы контроля является то, что измерения производятся при работающем станке. Вибрация системы станок—деталь—инструмент при работающем станке существенно усложняет конструкцию средств контроля, снижает точность измерения.

Этого недостатка нет при проведении контроля по схеме, показанной на рис. 4.19, б. В данном случае контроль выполняется на измерительной позиции при неподвижной детали 1, чем обеспечивается высокая точность измерения. По результатам измерения нескольких деталей производится подналадка станка и сортировка изделий на годные и бракованные устройством 8. Последовательность прохождения сигнала подналадки показана стрелками.

Рассмотренная схема активного контроля, обеспечивая высокую точность измерений, допускает появление некоторого количества бракованных деталей.

§ 5. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Автоматические линии рабочих машин (аппаратов) являются одной из форм реализации идей создания системы машин для комплексной автоматизации технологических процессов.

Автоматические линии классифицируются по следующим основным признакам:

по характеру выполнения операций технологического процесса различают автоматические линии последовательного, параллельного и параллельно-последовательного действия (см. гл. 4, 1);

в зависимости от степени универсальности различают специальные и специализированные автоматические линии.

Специальные автоматические линии komponуются из специальных станков-автоматов и предназначены для изготовления одного конкретного изделия. Они отличаются особо высокой производительностью и высокой стоимостью. Их применение экономически целесообразно в условиях массового производства.

Специализированные линии komponуются из специализированных агрегатных или приспособленных для таких линий универсальных станков. Такие автоматические линии предназначены для обработки группы однотипных изделий или для выполнения группы однотипных процессов. Такие линии могут применяться в крупносерийном производстве. При компоновке линий из легкоперенастраиваемых станков, транспортных устройств и систем управления эти линии могут быть использованы в серийном производстве.

По виду расположения оборудования различают линии с линейным, прямоугольным (П- или Г-образным) и круговым расположением. Линейное и прямоугольное расположение характерно для металлорежущего и прессового оборудования. В гальваноавтоматах широко применяется круговое расположение ванн.

По наличию или отсутствию бункеров линии делятся на безбункерные, бункерные с накопителем и бункерные (рис. 4.22) *. Безбункерные линии (рис. 4.20, а) имеют один общий транспортер, проходящий в данном случае через рабочие позиции. Изделия (показаны кружочками) перемещаются с одной позиции на другую путем перемещения на шаг t_1, t_2, \dots, t_q между позициями.

Линии с бункерами-накопителями (БН) (рис. 4.20, б) разбиваются на участки, между которыми ставятся бункеры-накопители. Они являются хранителями резерва изделий для обработки на последующих позициях. Изделие поступает из БН и перемещается на шаг по мере завершения обработки на каждой из позиций.

В линиях бункерного типа (рис. 4.20, в) каждая из машин, составляющих линию, имеет собственный бункер и транспортное перегружающее устройство.

Безбункерные линии наиболее просты по конструкции. Применяются они и при обработке крупногабаритных изделий. Однако выход из строя одной из машин, составляющих линию, ведет к остановке всей линии.

* Рабинович А. Н. Автоматизация механосборочного производства. Киев: Техніка, 1964. 386 с.

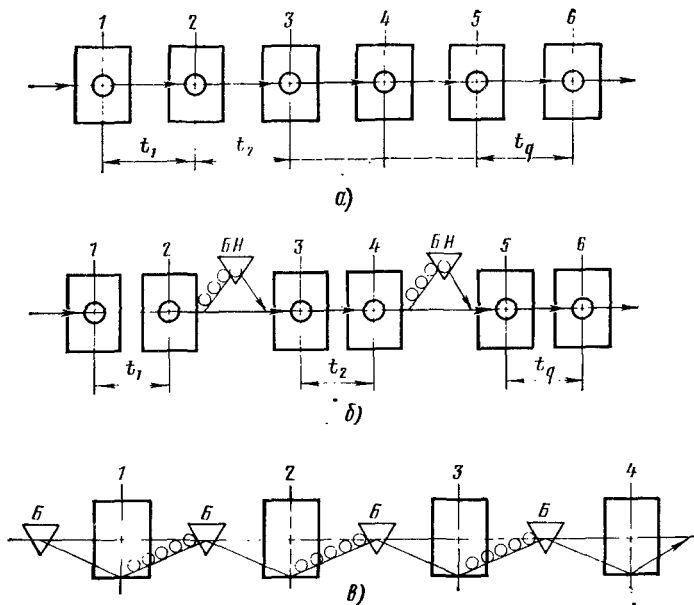


Рис. 4.20. Виды автоматических линий:

а — безбункерная; б — бункерная с накопителями; в — бункерная; БН — бункер-накопитель; Б — бункер; 1, 2, 3, 4, 5, 6 — рабочие позиции

Линии с бункерами-накопителями и бункерные допускают работу линии даже в случае выхода из строя одной из машин.

В самолето- и вертолетостроении автоматические линии применяются при автоматизации некоторых видов процессов образования защитных покрытий, термической и механической обработки.

Особый вид автоматических линий составляют роторные линии. Сущность этих линий состоит в том, что операции по обработке заготовок во времени совмещаются с транспортными. В них удается осуществить непрерывный, почти без потерь, цикл обработки, близкий к циклу идеальной машины.

Эти линии обеспечивают высокую производительность и применяются только в условиях массового производства. Они отличаются особой сложностью и высокой стоимостью.

§ 6. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Создание единичных автоматических рабочих машин не всегда обеспечивает комплексную автоматизацию технологических процессов, а использование автоматических линий в мелкосерийном производстве часто экономически не целесообразно. Ряд вспомогательных операций, таких как: подача изделий в рабочую зону,

их ориентация и закрепление, уборка изделий после завершения обработки из рабочей зоны, остаются неавтоматизированными, а часто и немеханизированными. Этим резко снижается экономическая эффективность мероприятий по механизации и автоматизации.

Так, возникла необходимость в создании еще одного вида автоматических машин — машин для выполнения вспомогательных операций и особо вредных для человека процессов, машин, заменяющих человека и наделенных способностью выполнять движения рук человека. Эти автоматические машины получили название *промышленных роботов*.

По назначению роботы делятся на роботы для научных исследований (изучения космического пространства, глубин океана и др.); собственно промышленные роботы для выполнения различных операций технологического процесса; роботы для сферы обслуживания — домашние «работницы», «официанты», упаковщики готовой продукции и др.

По степени универсальности роботы делятся на универсальные, специализированные в соответствии с общепринятым смыслом каждого из этих понятий.

По грузоподъемности различают роботы малой (до 5 кг), средней (более 5 до 40 кг) и большой (более 40 кг) грузоподъемности.

По типу силового привода различают роботы с гидравлическим, электрическим, пневматическим или комбинированным устройствами.

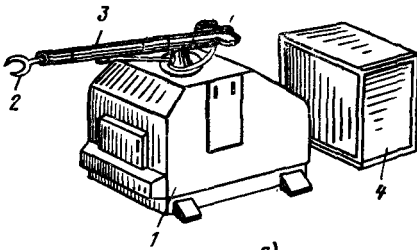
На рис. 4.21 показаны некоторые современные роботы. Общий вид отечественного универсального промышленного робота ПР-10И показан на рис. 4.21, а. Этот робот предназначен для подачи и снятия заготовок и деталей с металлорежущих станков, прессов и других видов оборудования. Промышленный робот состоит из манипулятора 1 и пульта управления 4. Важнейшими устройствами манипулятора являются схват («кисть») 2 и «рука» 3.

Возможные перемещения «кисти» и «руки» современного робота показаны на рис. 4.21, б стрелками. Как видно из рисунка, двигательные устройства («кисть», «рука») могут совершать линейные перемещения по осям X , Y и повороты вокруг всех трех осей.

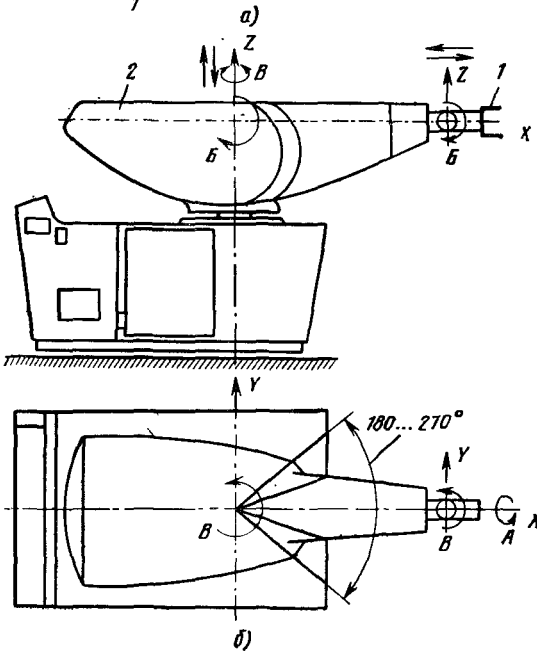
Каждому роботу придаются схваты разной конструкции, предназначенные для захвата деталей различной формы (рис. 4.22).

Использование роботов при обслуживании оборудования повышает производительность оборудования за счет сокращения времени на установку и снятие заготовок и деталей. Экономическая эффективность роботов увеличивается с ростом числа часов его использования. Важнейшим результатом использования роботов является замена труда человека в условиях, вредных для его организма. Действия робота синхронизируются с работой оборуду-

Рис. 4.21. Промышленные роботы:



а — общий вид универсального промышленного робота модели ПР-10И: 1 — манипулятор; 2 — схват («кисть»); 3 — «рука»; 4 — пульт управления; б — возможные схемы перемещения двигательных органов робота (показаны стрелками); 1 — «кисть»; 2 — «рука»



дования, которое он обслуживает. Синхронизация достигается введением специальных устройств в систему управления робота и оборудования.

Нецелесообразно использовать роботы для обслуживания оборудования с ручным управлением или при ручном выполнении других элементов процесса.

Наиболее эффективны роботы в массовом и крупносерийном производстве. В самолето- и вертолетостроении их целесообразно применять при достаточно большой программе.

Заготовки должны быть очищены от облоя, больших заусенцев. В противном случае их трудно установить и захватить схватом.

Предварительное ориентирование изделий, подготовленных для захвата роботом, проводится вручную. Существующие роботы не могут захватывать неориентированные изделия. Однако про-

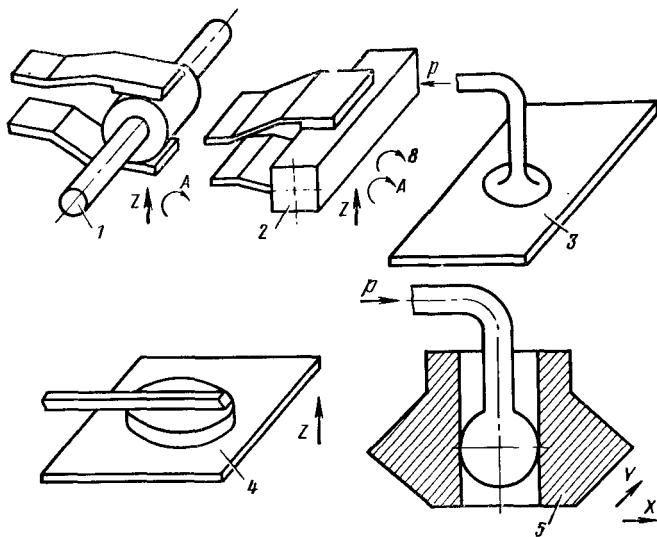


Рис. 4.22. Виды схватов «кисти», «руки» манипулятора для захвата деталей: 1 — цилиндрической; 2 — типа бруска; 3 — плоской (схват с вакуумным устройством); 4 — плоской (схват с магнитным устройством); 5 — с цилиндрическим отверстием (схват с пневматическим устройством)

ходят испытания роботы, способные захватывать заранее неориентированные изделия.

Участки, где работают роботы, должны быть ограждены для обеспечения безопасности персонала, работающего в цехе.

§ 7. ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ И АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ

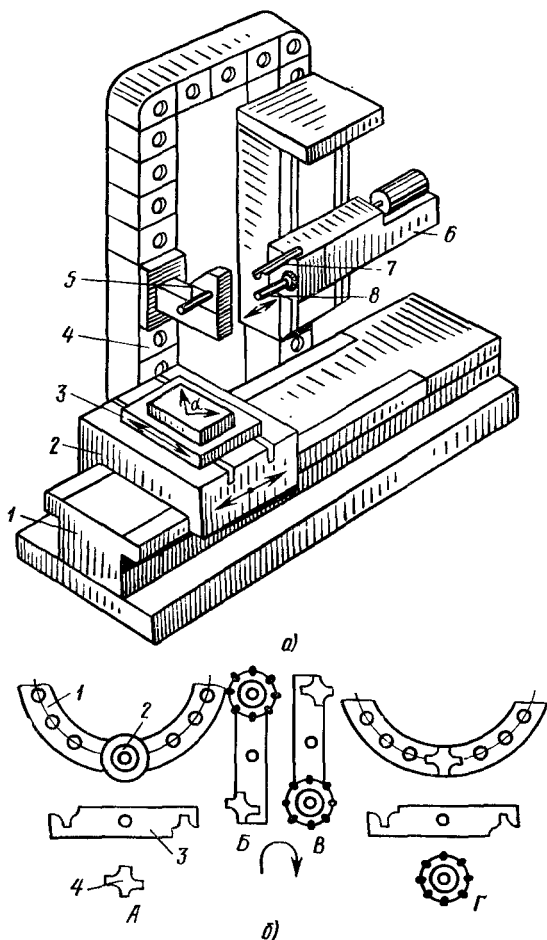
Последние годы все шире применяются обрабатывающие центры, которые называются центрами обработки или многооперационными станками (рис. 4.23). На них изготавливаются детали, требующие для обработки большого числа инструментов. Обработка ведется за один установ заготовки.

Смена инструментов на этих станках производится автоматически. Из-за отсутствия перестановок заготовки и автоматизации процессов смены инструментов в процессе обработки существенно сокращаются затраты вспомогательного времени. Интенсификация режимов резания позволяет значительно сократить время на обработку. Значительно сокращаются затраты времени на изготовление специальной оснастки в связи с возможностью использовать на обрабатывающих центрах простейшие универсальные приспособления.

Производительность при изготовлении деталей на обрабатывающих центрах по сравнению с обычными станками с ЧПУ повышается в 1,5—2 раза.

Рис. 4.23. Обрабатывающий центр:

a — компоновочная схема:
 1 — станна; 2 — стол продольных подач; 3 — стол поперечных подач; 4 — магазин; 5 — подающее устройство; 6 — каретка вертикальных подач; 7 — захватывающее устройство; 8 — шпиндель; *b* — схема автоматической замены инструмента; позиции *A*, *Г* — исходные; *Б*, *В* — промежуточные положения при смене инструмента; 1 — магазин; 2 — инструмент, подлежащий установке; 3 — двулучий рычаг; 4 — инструмент, подлежащий замене



Центры обработки (рис. 4.23, *a*) имеют магазин 4 для хранения различных инструментов. Установка инструмента в шпиндель 8 производится с помощью подающего 5 и захватывающего 7 устройств. Столы продольных 2, поперечных 3 подач и каретка 6 вертикальных перемещений перемещаются по направлениям, показанным на рисунке стрелками.

Конструкция одного из устройств для смены инструмента показана на рис. 4.23, *b*. По команде с пульта управления магазин 1 устанавливается в положение, при котором инструмент, подлежащий установке, располагается над шпинделем с инструментом, подлежащим замене (позиция *A*). Затем двулучий рычаг 3 (захватное устройство) поворачивается на угол 90° , захватывая при этом инструмент, подлежащий замене и установке (позиция *Б*). Перемещаясь в осевом направлении и поворачиваясь

на угол 180° , рычаг удаляет использованный и устанавливает новый инструмент (позиция В).

После этого рычаг устанавливается в исходное положение (позиция Г). Используются магазины в виде револьверных головок, цепных механизмов и другие.

Агрегатные станки появились ранее обрабатывающих центров. На них также за один установ обрабатывается заготовка несколькими инструментами. Однако запас инструментов разного назначения на этих станках значительно меньше, чем в обрабатывающем центре. При этом отсутствует магазин для хранения инструментов. В агрегатных станках для каждого инструмента имеется отдельный шпиндель с силовым приводом.

В обрабатывающих центрах используются адаптивные автоматические системы управления, а в агрегатных — циклические с упорами и концевыми выключателями и переключателями. Конструкция оборудования, управляемого от ЧПУ или других автоматических систем управления, обладает некоторыми особенностями. Важнейшими из них являются повышенная жесткость корпуса и более точные механизмы для передачи перемещений. Повышенная жесткость корпуса (станины) обусловливается более интенсивными режимами работы этого оборудования, большими нагрузками на корпус в связи с этим. Наличие зазоров в передаточных механизмах не всегда или с большим трудом может быть учтено в процессе обработки, что может привести к снижению ее точности. Для повышения точности передаточных механизмов применяются, в частности, шариковые винтовые пары.

ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ САМОЛЕТОВ

Глава 5

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТОВ ОБРАБОТКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕТАЛЕЙ

В силу специфических особенностей самолета все детали его планера отличаются относительной тонкостенностью, легкостью, прочностью и точностью. По конструктивному оформлению и назначению детали планера самолета укрупненно можно подразделить на четыре группы: детали-оболочки, образующие внешние аэродинамические обводы самолета; детали каркаса, образующие жесткий остов планера; детали внутреннего оборудования; детали механизмов взлета, посадки и управления.

Детали-оболочки — обшивки фюзеляжа, крыла, оперения, зализы и обтекатели могут быть одинарной, двойной и знакопеременной кривизны, открытой и замкнутой формы. Основная масса деталей оболочки самолета изготавливается из высокопрочных листовых материалов — алюминиевых, магниевых, титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей. Кроме того, детали-оболочки фюзеляжа и крыла могут представлять собой крупногабаритные монолитные панели, включающие в свою конструкцию обшивку и элементы каркаса — продольный, а иногда и поперечный набор в виде ребер жесткости различной формы в сечении.

Монолитные панели изготовляют из прессованных и прокатанных профилированных плит, из штампованных и литых специальных заготовок, а также из стандартных плоских плит с последующей механической или химической обработкой. Детали-оболочки должны с требуемой точностью повторять теоретические обводы самолета и иметь соответствующую чистоту поверхности. При этом они должны хорошо работать в различных температурных условиях, для чего исходные материалы должны обладать соответствующими физико-механическими свойствами.

Детали каркаса — шпангоуты или части шпангоутов, рамы, балки и стрингеры фюзеляжа, полки и стойки лонжеронов, стрингеры, нервюры, фитинги и профили разъемов крыла и оперения, фонарь или его детали весьма разнообразны по конструктивному оформлению и применяемым материалам. Для изготовления большинства деталей каркаса самолета таких, как части сборных

шпангоутов, стрингеры, полки и стенки лонжеронов, нервюры крыльев и оперения, используют прессованные и катаные профили и листы из высокопрочных алюминиевых и магниевых сплавов. Наряду с этим значительное количество деталей каркаса таких, как рамы, части силовых шпангоутов, балки, фитинги, профили разъемов, фонари, изготавливают из специальных заготовок — поковок, штамповок и отливок из высокопрочных легких сплавов, сталей и титановых сплавов. Поверхности деталей каркаса, эквидистантные теоретическим контурам сечений, должны плотно прилегать к соответствующим деталям оболочки и в сочетании с последними воспроизводить заданную аэродинамическую форму самолета. Контактные поверхности узлов, входящих в конструкцию монолитных деталей каркаса, должны обеспечивать взаимное пространственное расположение частей самолета. Поэтому они выполняются с высокой степенью точности, в увязке с поверхностями, образующими внешние обводы самолета.

Детали внутреннего оборудования самолета, изготавливаемые на самолетостроительном предприятии, также разнообразны по конструктивному оформлению и применяемым исходным материалам. К таким деталям относятся чаши, рамы, кронштейны сидений, приборные доски, кожухи и коробка электрооборудования, накладки, хомуты и другие специальные детали. Для изготовления этих деталей в основном применяют полуфабрикаты — листы, плиты, профили и специальные заготовки — поковки, штамповки, отливки из алюминиевых, магниевых сплавов, сталей и пластмасс.

Требования к деталям оборудования зависят от назначения и условий работы их в конструкции самолета. Так, например, к коробам и кожухам для электрожгутов особых требований прочности и точности не предъявляют. К рамам, кронштейнам, чашам сидений и специальным соединительным деталям предъявляют определенные требования прочности и точности. К некоторым деталям внутреннего оборудования и интерьера, кроме того, предъявляются особые требования внешнего вида, чистоты поверхностей и цвета.

Детали механизмов взлета, посадки и управления — цилиндры, поршни, штоки пневмо- и гидросистем, траверсы, оси и подкосы шасси, тяги, рычаги, качалки управления также разнообразны по конструктивному оформлению и применяемым для их изготовления материалам. Для изготовления деталей механизмов применяют полуфабрикаты — листы, прутки, толстостенные трубы и специальные заготовки — поковки, штамповки и отливки из высокопрочных легких сплавов и сталей.

Требования к деталям механизмов зависят от их назначения и специфики работы в собранном узле. Кроме требований прочности и точности, которые распространяются на все детали механизмов, к значительному числу их предъявляются требования герметичности и износостойкости. Например, к цилиндрам,

поршням, штокам гидро- или пневмооборудования и к осям, траверсам и подкосам шасси, которые обычно изготавливают из высокопрочных сталей, наряду с требованиями высокой прочности, точности и герметичности предъявляются требования высокой чистоты и износостойкости отдельных поверхностей (внутренние поверхности цилиндров, внешние поверхности поршней и штоков, отдельные поверхности осей, траверс и подкосов шасси). Эти требования обеспечиваются специальными процессами обработки.

§ 2. ХАРАКТЕРНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ И ЗАГОТОВКИ ИЗ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

В соответствии с технологическими свойствами легкие сплавы и стали подразделяют на деформируемые в холодном состоянии и с подогревом, деформируемые в горячем состоянии и литейные.

Приведем основные материалы, применяемые для изготовления деталей пассажирских самолетов с учетом рекомендаций ведущих ОКБ по ограничению количества марок материалов.

Для изготовления деталей холодным деформированием применяют следующие материалы: алюминиевые сплавы Д16, Д19, АМц, АМг, В95; магниевые сплавы МА8, МА14; титановые сплавы ОТ4-0, ОТ4-1, ВТ14; стали 20, 30ХГСА, 30ХГСНА, Х18Н10Т, 2Х18Н12САТЮ, Х15Н19Ю (СН-2).

Алюминиевый сплав Д16 — листы, монолитные панели, прессованные профили, прессованные, холоднотянутые и холоднокатанные трубы в отожженном или закаленном состоянии применяют для изготовления обшивок, обтекателей, деталей каркаса, работающих при температуре до 200 °С.

Сплав Д19 — листы в отожженном или закаленном и естественно-состаренном состоянии применяют для изготовления обшивок, обтекателей, деталей каркаса и других, работающих при температуре до 300 °С.

Сплав АМц — листы, холоднокатанные и холоднотянутые трубы в отожженном и нагартованном состоянии применяют для изготовления деталей баков, бензо- и маслопроводов, подвергающихся сварке. Сплав АМц обладает высокой коррозионной стойкостью, пластичностью и хорошей свариваемостью.

Сплав АМг6 — листы, прессованные профили, холоднокатанные и холоднотянутые трубы в отожженном и нагартованном состоянии применяют для изготовления деталей сварных баков, герметических кабин, каркаса и других деталей. Сплав АМг6 обладает высокой коррозионной стойкостью, пластичностью и хорошей свариваемостью. Прочность сварного шва составляет 90 ... 95 % прочности основного материала.

Высокопрочный сплав В95 — листы, монолитные панели, прессованные профили в отожженном и закаленном и искусственно состаренном состоянии применяют для изготовления основных

силовых деталей самолета: лонжеронов, стрингеров, шпангоутов, нервюр, обшивок, монолитных панелей и т. п. Сплав В95 весьма чувствителен к концентраторам напряжений. Поэтому необходима тщательная отработка конструктивных форм с плавными переходами сечений, строгое соблюдение технологического процесса во избежание появления на деталях забоин, царапин, задиrow и т. п.

Магниевый сплав МА8 — листы и горячекатаные профили применяют для малонагруженных деталей оболочки и каркаса несложной конфигурации, подвергающихся сварке и работающих при температуре до 200 °С. Сплав МА8 отличается удовлетворительной пластичностью.

Магниевый сплав МА14 (ВМ65-1) — горячекатаные профили применяют для изготовления деталей каркаса и внутреннего оборудования, не подвергающихся сварке. Сплав МА14 обладает хорошей пластичностью.

Титановые сплавы ОТ4-0 (листы) и ОТ4-1 (листы и трубы) применяют для изготовления деталей оболочки, трубопроводов и других подвергающихся сварке деталей, работающих при температуре до 400 °С.

Сплав ВТ14 — листы повышенной прочности — применяют для изготовления силовых, наиболее нагруженных деталей оболочки и каркаса.

Титановые сплавы имеют повышенную склонность к упрочнению в процессе их деформирования и чувствительны к нагрузкам. Требования к шероховатости поверхности и плавным переходам для деталей из титановых сплавов повышены.

Малоуглеродистая сталь С20 — листы и трубы в нормализованном состоянии — применяют для изготовления малонагруженных деталей оболочки каркаса и внутреннего оборудования, подвергающихся сварке. Сталь С20 пластична, хорошо сваривается и обрабатывается резанием.

Сталь 30ХГСА — листы и трубы горяче- и холоднокатаные — применяют для изготовления высоконагруженных деталей, подвергающихся сварке (сварные рамы, фермы, шпангоуты, качалки и т. д.) и работающих при температуре до 500 °С.

Сталь 30ХГСНА (30ХГСНМА) — листы и трубы горяче- и холоднокатаные — применяют для изготовления особо нагруженных деталей, подвергающихся сварке (траверсы, цилиндры и штоки шасси и бустеров), работающих при температуре до 500 °С. К конструированию и технологическим процессам изготовления деталей из стали 30ХГСНА предъявляются повышенные требования, так как она особо чувствительна к повторным нагрузкам и концентраторам напряжений.

Коррозионно-стойкая жаростойкая сталь Х18Н10Т — листы и трубы в закаленном состоянии — применяют для изготовления сложных деталей оболочки и каркаса, работающих при температуре до 500 °С. Сталь Х18Н10Т хорошо штампуется в холодном состоянии и сваривается.

Коррозионно-стойкая сталь 2Х18Н12С4ТЮ — листы и ленты в нагартованном и мягком состоянии — применяется для изготовления деталей сварных емкостей и узлов, работающих в агрессивных средах. В мягком состоянии пластичность стали 2Х18Н12С4ТЮ высокая, свариваемость хорошая.

Хромоникельалюминиевая сталь Х15Н9Ю (СН-2) — листы холоднокатаные и трубы в нормализованном состоянии — применяются для изготовления обшивок, носков и законцовок крыльев, деталей каркаса, ферм, работающих при температурах до 450 °С, а также для деталей, работающих в контакте с атмосферой и топливом. Коррозионно-стойкие высокопрочные жаростойкие стали типа СН обладают высокой пластичностью в нормализованном состоянии, высокой прочностью после нагартовки и старения, высокой теплостойкостью, коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью. Обшивки, работающие при температурах до 450 °С, изготавливают из нагартованной стали Х15Н9Ю. Стрингеры и гофрированные обшивки изготавливают из полунагартованной стали и подвергают старению только после формообразования. Детали, для формообразования которых требуется высокая пластичность, изготавливают из мягкой нормализованной стали Х15Н9Ю и затем обрабатывают холодом при температурах от -60 до 70 °С с последующим старением при 480 ... 500 °С.

Основными материалами для изготовления деталей самолетов из горячештампованных заготовок являются: конструкционные стали 25, 45, 30ХГСА, 30ХГСНА; коррозионно-стойкие стали Х18Н9Т, Х16Н6 (СН-2А), 14Х17Н2; алюминиевые сплавы АК4-1, АК6Т1, В93Т1; магниевые сплавы МА14 (ВМ65-1), МА2-1; титановые сплавы ВТ6С, ВТ16, ВТ22.

Горячештампованные заготовки по сравнению с литыми имеют наиболее высокие механические свойства и поэтому широко используются для изготовления высоконагруженных деталей.

При выборе материала для изготовления деталей из горячештампованных заготовок учитывают способность материала к пластическому деформированию и его обрабатываемость резанием. При этом предпочтение отдают материалу, который обеспечивает наиболее простой технологический процесс и высокие стабильные физико-механические свойства детали.

Основные требования к деталям, изготавливаемым из горячештампованных заготовок, состоят в выборе наиболее простой геометрической формы, в обеспечении плавных переходов от одного сечения к другому и в соблюдении рекомендуемых соотношений между отдельными конструктивными элементами детали.

Горячештампованные заготовки из конструкционных сталей применяют для изготовления деталей каркаса и механизмов как небольших, так и значительных габаритных размеров; из коррозионно-стойких сталей — для изготовления деталей арматуры, работающих в агрессивных средах, и деталей каркаса, работающих

при температурах 300 ... 400 °С; из алюминиевых и магниевых сплавов — для изготовления деталей арматуры, деталей каркаса, а также крупногабаритных монолитных панелей крыла и фюзеляжа; из титановых сплавов — для изготовления деталей различных емкостей и деталей каркаса самолета, работающих при высоких температурах.

На самолетостроительных предприятиях изготавливают горячештампованные заготовки относительно небольших размеров. Это объясняется тем, что большинство серийных самолетостроительных предприятий располагает кузнечно-прессовым оборудованием небольшой мощности. Получение крупногабаритных штамповок сложной формы ограничено мощностью кузнечно-прессового оборудования. Так, например, для получения горячештампованных заготовок из сталей требуются усилия порядка 1000 МПа (100 000 тс/м²), а из алюминиевых сплавов порядка 300 МПа (30 000 тс/м²).

Поэтому крупногабаритные горячештампованные заготовки изготавливают на специализированных предприятиях, располагающих уникальным оборудованием большой мощности: молотами с массой падающих частей более 25 т, горизонтально-ковочными машинами, создающими усилия до 30 МН (300 тс), и гидравлическими прессами, создающими усилия до 700 МН (70 000 тс).

Основными литейными материалами для изготовления деталей самолетов являются: алюминиевые сплавы АЛ9, АЛ19, ВАЛ-1; магниевые сплавы МЛ5, МЛ8 (МЛ12-1); титановые сплавы ВТ5Л, ВТ21Л; стали 35ХГСЛ, ВНЛ-3.

При выборе материалов для изготовления деталей из литых заготовок учитывают литейные свойства материала, его обрабатываемость резанием и свариваемость. Отливки применяют во всех случаях, когда детали из литых заготовок удовлетворяют расчетным нагрузкам и условиям эксплуатации. Это объясняется резким снижением себестоимости изготовления деталей. Например, себестоимость изготовления монолитной панели из литой заготовки в 2 раза ниже себестоимости такой же панели, изготовленной из плиты механической обработкой или сборкой — клепкой из листового материала и прессованных профилей.

Из литых заготовок изготавливают в основном детали каркаса самолета и в относительно небольшом количестве — крупногабаритные панели и корпусные детали.

На серийных предприятиях авиационной промышленности применяются следующие способы литья: в песчаные формы, в кокиль, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, под давлением, выжиманием, под низким давлением и направленно-последовательной кристаллизации.

Для каждого конкретного случая способ литья выбирают в зависимости от объема производства, габаритных размеров детали, сложности ее конфигурации и требований, предъявляемых к де-

тали. При этом учитывают затраты на изготовление оснастки, которые должны быть экономически оправданы.

Значительное количество деталей изготавливают непосредственно из полуфабрикатов резанием и другими процессами удаления излишнего материала.

Основными наиболее распространенными полуфабрикатами для изготовления деталей удалением излишнего материала являются: прутки круглой, квадратной и шестигранной формы в сечении, прессованные из алюминиевых сплавов АМг6, Д16, АК6Т, из магниевых сплавов МА2-1, МА14 (ВМ65-1); горячекатаные и кованые из титановых сплавов ОТЧ, ВТЗ-1, ВТ22; горячекатаные, холоднотянутые и калиброванные из сталей 10, 25, 45, 30ХГСА (30ХГСНМА), 40ХНМА (40ХНВА); трубы прессованные, холоднокатаные и холоднотянутые из алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМц, Д16 и горячекатаные из сталей 20, 30ХГСА, 30ХГСНА, Х18Н10Т; профили, прессованные из алюминиевых сплавов АМг6, Д16, В95Т-1, АД31, горячепрессованные из магниевого сплава МА14 и горячекатаные из стали 30ХГСА; плиты прессованные из алюминиевых сплавов АМц, АМг, Д16 и полосы горячекатаные из сталей 25, 45, 30ХГСА.

Прутки прессованные и горячекатаные имеют низкую точность размеров в сечении и применяются для изготовления деталей из штучных заготовок. Холоднотянутые и калиброванные прутки изготавливают по 5-му классу точности в сечении и применяют для изготовления деталей из прутка на револьверных станках и токарных автоматах.

Трубы холоднотянутые по сравнению с горячекатаными и прессованными имеют наиболее высокие механические свойства, точность размеров и чистоту поверхности. Трубы применяют для изготовления полых деталей, имеющих форму тел вращения, что позволяет экономить металл, сокращать трудоемкость обработки и получать детали с высокими механическими свойствами.

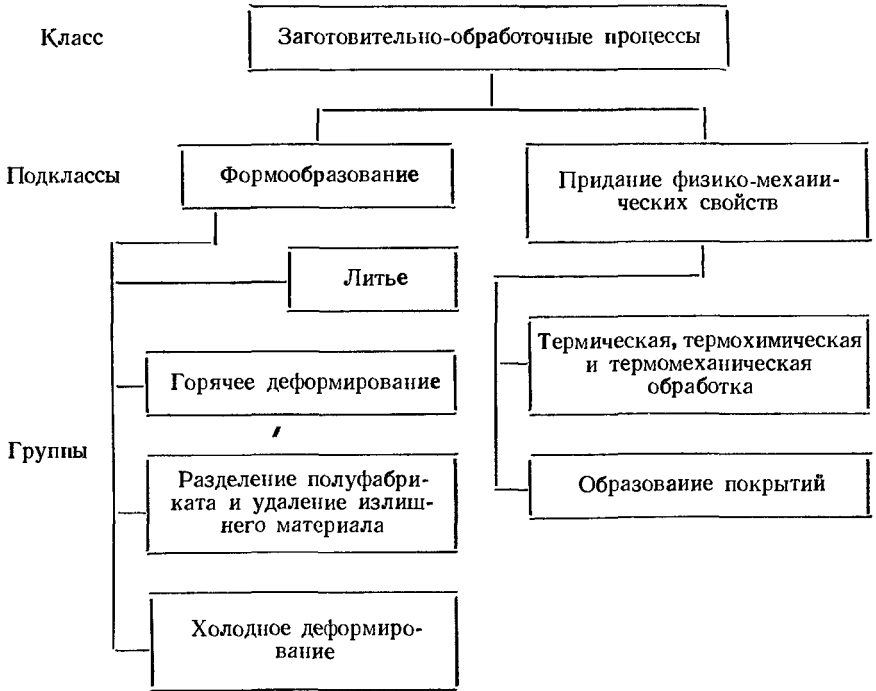
Профили применяют для изготовления деталей каркаса. Профили горячекатаные дешевле в изготовлении. Однако формы их сечений ограничены возможностями процесса прокатки. Прессованные профили могут быть весьма сложной формы в сечении, но простой конфигурации с переменными размерами в сечениях по длине.

Плиты прессованные (профилированные) из алюминиевых сплавов применяют для изготовления монолитных панелей, а горячекатаные стальные полосы — для изготовления плоских деталей каркаса.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В основном производстве современного предприятия авиационной промышленности независимо от объема производства для изготовления самолета применяют весьма большое количе-

Классификация заготовительно-обработочных процессов



ство разнообразных технологических процессов. Все эти процессы делятся на три взаимосвязанных класса: заготовительно-обработочные, монтажно-сборочные и регулировочно-испытательные процессы.

Классификация технологических процессов базируется на делении процессов каждого класса на подклассы, группы, подгруппы и первичные процессы, состоящие из действий (механических, физических, химических или комбинированных), независимо от того, производятся эти действия с участием или без участия человека.

Классификация технологических процессов необходима для выяснения и освоения массива частных процессов и для селективного их использования при разработке рациональных процессов изготовления изделий.

Заготовительно-обработочные процессы включают множество частных процессов, из которых составляются конкретные технологические процессы изготовления деталей планера самолета. Все множество этих процессов в зависимости от результатов их воздействия на исходные материалы можно разделить на два взаимосвязанных подкласса: процессы формообразования и про-

цессы придания деталям требуемых физико-механических свойств (табл. 5.1).

В соответствии с учебными планами подготовки специалистов в большинстве авиационных вузов страны физическая сущность заготовительно-обработочных процессов рассматривается в соответствующих дисциплинах до изучения настоящего курса. Поэтому в данном курсе эти процессы характеризуются лишь с точки зрения их рационального использования.

Схемы деления каждой группы процессов на подгруппы и на частные специфические процессы приводятся далее (см. гл. 6 ... 9), и в соответствии с этими схемами дается характеристика частных процессов каждой группы.

Глава 6

ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОЛУФАБРИКАТА И УДАЛЕНИЕМ ИЗЛИШНЕГО МАТЕРИАЛА

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

Для разделения полуфабриката на заготовки и детали и удаления излишнего материала применяют многочисленные процессы, которые по виду энергии, подводимой в зону обработки, можно подразделить на следующие подгруппы: механические, электрические, электрохимические, химические, акустические, тепловые. Каждую подгруппу по физико-химической однородности можно разделить на частные технологические процессы (рис. 6.1), которые, в свою очередь, состоят из разнообразных видов обработки. В соответствии с этой классификацией далее приведены характеристики частных процессов формообразования разделением полуфабриката и удалением излишнего материала.

Для образования формы и размеров детали соответствующей точности с поверхностью заготовки удаляется слой материала, который называют припуском на обработку. Припуск на обработку должен обеспечивать устранение всех погрешностей предыдущей обработки с учетом погрешностей базирования и закрепления заготовки на выполняемой операции.

Суммарная величина минимального припуска $z_{b \min}$ (рис. 6.2) на обрабатываемую поверхность при наименьшем предельном размере заготовки для наружных поверхностей (a_{\min} , b_{\min}) или при наибольшем предельном размере заготовки для внутренних

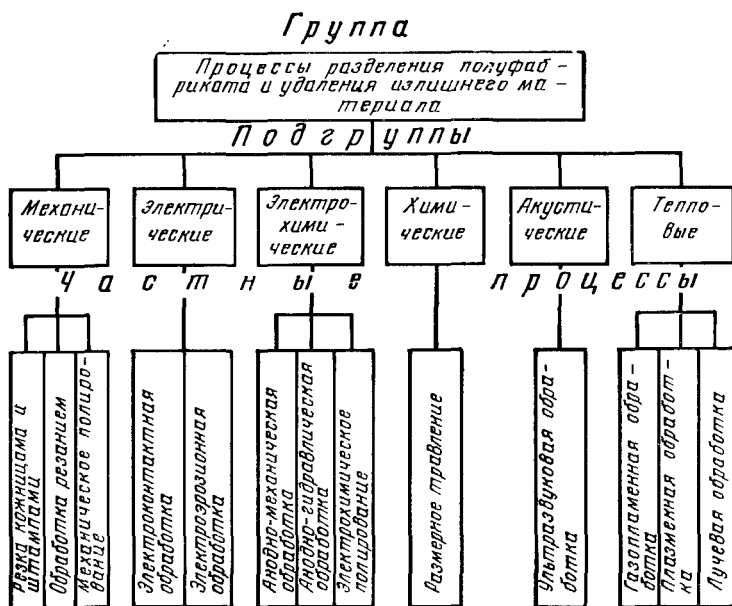


Рис. 6.1. Классификация процессов разделения полуфабриката и удаления излишнего материала

поверхностей (a_{\max} , b_{\max}) для какого-либо перехода определяется по формуле

$$z_{b \min} = (H_a + T_a) + (\bar{\rho}_a + \bar{\epsilon}_b), \quad (6.1)$$

где H_a — высота микронеровностей, полученных на предшествующем переходе; T_a — глубина поверхностного дефектного слоя; $\bar{\rho}_a$ — погрешность формы на предшествующем переходе (векторная сумма пространственных отклонений); $\bar{\epsilon}_b$ — погрешность

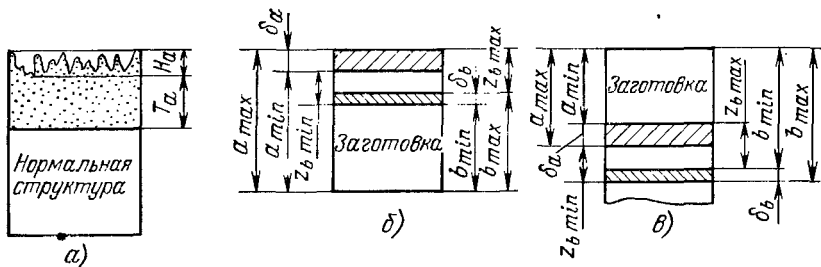


Рис. 6.2. Схема расположения микронеровностей и дефектного слоя (а), допусков и припусков на обработку наружных (б) и внутренних (е) поверхностей: a — размер и δ_a — допуск на размер, полученный на предшествующем переходе; b — размер и δ_b — допуск на размер, которые должны быть получены на выполняемом переходе; z_b — припуск на выполняемый переход

установки на выполняемом переходе (векторная сумма погрешностей базирования и закрепления).

Чистота поверхностей определяется шероховатостью, т. е. неровностями с относительно малым шагом по ГОСТ 2789—73.

Глубина дефектного слоя T_a зависит от вида и режима обработки, например, в результате нагрева и вредных деформаций она достигает (в мм): при точении 0,2 ... 2; при шлифовании — 0,0125 ... 0,075; при хонинговании 0,0025 ... 0,025; при суперфинишировании 0,00025.

Погрешность формы \bar{p}_a , полученная на предшествующем переходе обработки, существенно влияет на погрешности формы на выполняемом переходе. Например, овальность заготовки обычно приводит к овальности детали. В случае автоматического получения размеров деталей на предварительно настроенных станках при наименьшем предельном размере заготовки a_{\min} получают наименьший предельный размер после обработки b_{\min} . И наоборот, при наибольшем предельном размере заготовки a_{\max} после обработки получают наибольший предельный размер b_{\max} .

Погрешность установки на выполняемом переходе \bar{e}_b составляется из погрешностей базирования и закрепления заготовки. Например, при совмещении конструктивной и установочной баз погрешность базирования равна нулю. Погрешность закрепления зависит от вида зажимного устройства.

Действительные припуски на обработку располагаются в пределах минимального $z_{b \min}$ и максимального $z_{b \max}$ припусков в зависимости от действительных размеров заготовки.

Допуск на припуск δ_z определяется как разность предельных значений припуска:

$$\delta_z = z_{b \max} - z_{b \min} = \delta_a - \delta_b. \quad (6.2)$$

Общий припуск z_0 , необходимый для всех переходов от черновой заготовки до получения готовой детали соответствующей точности, определяется как сумма промежуточных припусков

$$z_0 = \sum_{i=1}^n z_i. \quad (6.3)$$

Таким образом, размер заготовки складывается из номинального размера и общего припуска на обработку.

Общий припуск рассчитывается в соответствии со схемой технологического процесса изготовления детали начиная с последнего окончательного перехода обработки данной поверхности.

Припуск на полирование, когда достигается только заданная шероховатость поверхности, не рассчитывают. При полировании удаляются лишь гребешки микронеровностей в пределах допуска на размер детали, полученного на предшествующем переходе обработки.

§ 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В самолетостроении широко применяют резку ножницами и штампами, распиловку, фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, точение, протягивание, шлифование и полирование.

Резка ножницами и штампами. Процесс резки ножницами и штампами заключается в сдвиге одной части полуфабриката относительно другой под действием и в направлении сил, приложенных к полуфабрикату со стороны ножей ножниц или пуансона и матрицы вырезного штампа (рис. 6.3, а, б).

Процесс состоит из трех стадий: изгиба заготовки под действием пары сил, приложенных к режущим кромкам; внедрения режущих кромок в материал полуфабриката вследствие смятия; отделения одной части полуфабриката от другой в результате образования микротрещин, направленных по поверхности скольжения. Трещины разрушения идут от режущих кромок и направлены под некоторым углом к поверхности полуфабриката. Для того чтобы они совпали по направлению, между режущими кромками необходим некоторый зазор z . Оптимальный зазор, при котором получается наибольшая поверхность среза материала, более высокая точность резки, наименьшее усилие резки и наибольшая стойкость режущих кромок, близок к 8 ... 10 % толщины материала для металлических и к 3 ... 5 % для неметаллических полуфабрикатов типа бумаги, кожи, текстолита, фибры.

Вследствие изгиба и сдвига волокна, расположенные в зоне линии разделения, удлиняются и кромки заготовок получают характерный скошенный вид. Это обуславливает сравнительно невысокие точность резки и класс шероховатости кромок. Для уменьшения изгиба и повышения точности резку производят с прижимом и, когда это возможно, с поддерживающей плитой, которые препятствуют общему изгибу заготовки (рис. 6.3, в).

У с и л и е р е з к и. Ножи должны воздействовать на полуфабрикат с усилием, достаточным для создания пиковых напряжений, достигающих величины $\tau_{ср}$ для данного материала. Много-

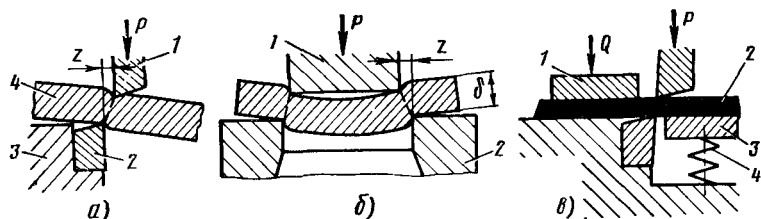


Рис. 6.3. Схема процесса резки:

а — ножницами: 1 — верхний нож; 2 — нижний нож; 3 — стол ножниц; 4 — разрезаемый полуфабрикат; б — штампами: 1 — пуансон; 2 — матрица; в — ножницами с прижимом и поддерживающей плитой: 1 — прижим; 2 — разрезаемый материал; 3 — поддерживающая плита; 4 — пружина

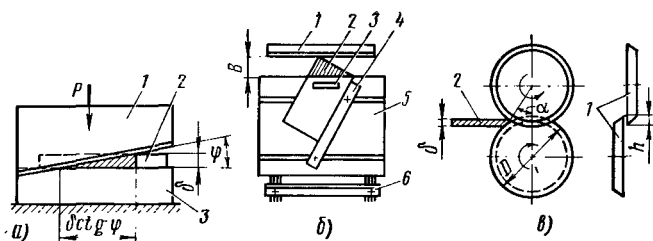


Рис. 6.4. Способы резки по прямым линиям:

a — гильотинными ножницами: 1 — верхний нож; 2 — разрезаемый лист; 3 — нижний нож; *b* — схема настройки упоров на гильотинных ножницах: 1 — задний упор; 2 — отрезаемая заготовка; 3 — прижим; 4 — боковой упор или направляющая линейка; 5 — стол ножниц; 6 — передний упор; *B* — расстояние между режущей кромкой нижнего ножа и задним упором; *g* — резка роликовыми ножницами: 1 — нож; 2 — разрезаемый полуфабрикат; $\alpha = 7 \dots 14^\circ$ — угол захвата; $D = (30 \dots 70)\delta$ — диаметр ножей; $h \approx (0,2 \dots 0,35)\delta$ — величина захода ножей

численными экспериментами установлено, что для процессов резки достаточно усилие P , определяемое из выражения

$$P = 1,3S\tau_{ср} \approx S\sigma_{в}, \quad (6.4)$$

где S — площадь одновременного сдвига материала; $\tau_{ср}$ — сопротивление материала срезу; 1,3 (1,0 ... 1,3) — коэффициент, учитывающий неравномерность толщины материала полуфабриката, затупление режущих кромок ножей, наличие сложного напряженного состояния в процессе резки; $\sigma_{в}$ — предел прочности материала полуфабриката.

Способы резки и применяемое оборудование. Существует несколько способов резки листовых полуфабрикатов: по прямым линиям и по криволинейным открытым и замкнутым контурам.

Резку по прямым линиям осуществляют на гильотинных, роликовых и многороликовых ножницах. На рис. 6.4, *a* показана схема резки листов на гильотинных ножницах с верхним ножом, расположенным под углом к нижнему неподвижному ножу. Усилие резки подсчитывают по формуле

$$P = S\sigma_{в} = \frac{1}{2} \sigma_{в} \delta^2 \operatorname{ctg} \varphi, \quad (6.5)$$

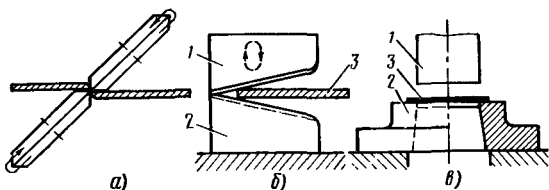
где φ — угол створа ножей; δ — толщина полуфабриката.

С увеличением φ , а следовательно, уменьшением площади одновременного сдвига материала усилие резки уменьшается. Однако при увеличении φ резко возрастает потребный ход верхнего ножа, а также деформации изгиба и скручивание отрезаемой заготовки. Наивыгоднейший угол створа φ в зависимости от толщины разрезаемого листа (0,5 ... 0,25 мм) составляет 1 ... 6°.

Для резки сравнительно тонких листов, когда предъявляются повышенные требования к качеству реза, а также для неметаллических материалов (текстолита, гетинакса, картона и пр.) используют ножницы с параллельными ножами. Величину S в этом

Рис. 6.5. Способы резки по криволинейным контурам:

а — дисковыми ножницами;
 б — вибрационными ножницами; 1 — подвижный нож; 2 — неподвижный нож; 3 — разрезаемый лист, а — штамп; 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — полуфабрикат



случае определяют из выражения $S = L\delta$, где L — длина линии разделения полуфабриката.

Резку листов на гильотинных ножницах производят по упорам (рис. 6.4, б). Если размер B полосы или заготовки превышает 200 ... 600 мм соответственно для толщины материала 0,5 ... 2 мм, то резку выполняют по переднему упору. В этом случае отрезаемая полоса не провисает и точность резки выше, чем при резке по заднему упору.

Затраты на наладку гильотинных ножниц незначительны, и их экономически целесообразно применять в условиях как мелкосерийного, так и крупносерийного производства.

Для продольной резки ленточного материала (со скоростью перемещения разрезаемого полуфабриката 15 ... 35 м/мин применяют роликовые ножницы как с одной парой ножей (рис. 6.4, в), так и с несколькими. Многороликовые ножницы используют в крупносерийном и массовом производстве для разрезания тонких листов и лент ($\delta \leq 3$ мм) на несколько полос (лент) одновременно. Заданные расстояния между отдельными парами ножей устанавливаются при настройке ножниц.

Резку по криволинейным контурам листовых полуфабрикатов из неметаллических материалов, цветных сплавов и высокопрочных материалов (сталь, титановые сплавы) производят дисковыми и вибрационными ножницами, а также штампами (рис. 6.5).

У наклонно поставленных под углом 45° ножей дисковых ножниц (рис. 6.5, а) режущие кромки образованы пересечением конических поверхностей. Это позволяет в процессе резки поворачивать лист относительно ножей и вырезать заготовки и детали, контур которых очерчен кривыми с относительно небольшими радиусами. Надежный захват листа при резке возможен в том случае, если $D/\delta \geq 30$. На практике применяют ножи, диаметр которых не превышает 60 ... 70 мм, что обеспечивает резку по кривым с радиусами кривизны не менее 40 ... 50 мм. Толщина δ разрезаемого материала при этом не должна превышать $1/30 D$, т. е. 2,5 мм. Производительность резки при этом составляет 2 ... 10 м/мин. Избежать ручного направления листа по требуемой траектории удастся лишь при вырезке круглых деталей, когда полуфабрикат квадратной формы закрепляют в центрах ножниц. Круговая подача осуществляется «захватом» полуфабриката вращающимися ножами.

Дисковые ножницы применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

Схема резки на вибрационных ножницах показана на рис. 6.5, б. Верхний нож с амплитудой 2 ... 3 мм совершает 1200 ... 2000 возвратно-поступательных движений в минуту по замкнутой кривой.

Нижний нож в процессе резки опускается и поднимается, что позволяет в широком диапазоне изменять величину захода ножей и вырезать как по наружным, так и по внутренним прямолинейным и криволинейным контурам заготовки с минимальным радиусом кривизны 12 ... 15 мм. Кромки заготовок и деталей получают обычно с зазубринами и заусенцами, что вызывает необходимость последующей ручной опиловки контура. Вибрационные ножницы применяют для вырезки деталей по разметке из листового материала в единичном и мелкосерийном производстве

Вырезка [штампами]. Процесс вырезки заготовок и деталей из листа штампами (рис. 6.5, в) аналогичен процессу резки на ножницах. Усилие вырезки определяется по формуле

$$P = L\delta\sigma_{в}, \quad (6.6)$$

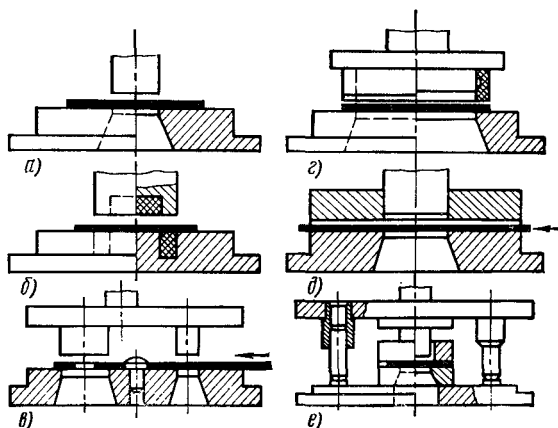
где L — периметр вырезаемого контура.

При помощи штампов, установленных на прессах соответствующей мощности, вырезают различной конфигурации заготовки и детали из полос, лент и карточек. Точность и производительность вырезки штампами выше, чем дисковыми и вибрационными ножницами. В зависимости от механизации подачи полуфабриката и конструкции штампа соответствующее прессовое оборудование позволяет вырезать от 20 до 600 заготовок или деталей в минуту. При этом погрешность перенесения размеров штампа на деталь или заготовку обычно не превышает 0,1 ... 0,2 мм. Вырезка штампами является одним из прогрессивных процессов получения деталей и заготовок малых и средних размеров как в мелкосерийном, так и в массовом производстве.

Характеристика штампов. По характеру действия вырезные штампы (рис. 6.6, а—в) бывают *простыми* (вырезка только наружного или внутреннего контура), *совмещенными* (одновременно вырезка по наружному и внутреннему контурам) и *последовательными* (вырезка по внутреннему и наружному контурам) за два и более ходов пресса. При выборе штампов для вырезки конкретных заготовок и деталей необходимо учитывать, что точность взаимного расположения контуров детали, вырезанной штампом совмещенного действия, составляет 0,02 ... 0,08 мм, а штампами последовательного действия — 0,1 ... 0,3 мм. Штампы последовательного действия конструктивно менее компактны, чем совмещенного, но более производительны.

По конструктивному оформлению штампы (рис. 6.6, г—е) подразделяются на *открытые*, с *направляющей плитой* и *направ-*

Рис. 6.6. Типы штампов (по характеру действия): а — простой; б — совмещенного действия; в — последовательного действия. По конструктивному оформлению: 2 — открытый; д — с направляющей плитой; е — с направляющими колонками



ляющими колонками. У простых по конструкции открытых штампов ориентация взаимного расположения пуансона и матрицы обеспечивается непосредственно прессом. Вследствие этого сравнительно велика трудоемкость выверки зазора между матрицей и пуансоном по контуру при установке штампа на прессе.

Штампы с направляющими колонками применяют для вырезки деталей сложного контура, так как в этом случае значительно проще обеспечить точное направление пуансона сложной формы в плане, чем с помощью направляющей плиты. Использование направляющих колонок увеличивает габаритные размеры штампа.

В самолетостроении при любых объемах производства широко применяются пластинчатые штампы (рис. 6.7, а), которые состоят из нормализованных корпусов (блоков) и специальных пуансонов и матриц. Матрицы и пуансоны изготавливают из нормализованных по размерам пластин небольшой толщины (6 ... 12 мм), что упрощает их обработку. Для выталкивания деталей и отходов в пластинчатых штампах используют резиновые подушки. Пластинчатый штамп в блоке устанавливается на контрольные штифты и удерживается при помощи быстродействующего крепления. Это позволяет быстро заменять вырезную пару без снятия корпуса штампа с пресса. Использование резины для съема отхода и выталкивания детали исключает возможность применения пластинчатых штампов для вырезки отверстий диаметром менее 15 мм и деталей из материала толщиной более 3 мм.

Крупногабаритные детали, ограниченные плавным контуром, рекомендуется вырезать ленточными штампами (рис. 6.7, б) с наполнителем из эпоксидной композиции.

Ленточными и комбинированными штампами можно вырезать заготовки из листов жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов толщиной до 2 мм.

Для крепления пластинчатых и ленточных штампов (с полезной площадью крепления более 12 ... 15 см²) используют также

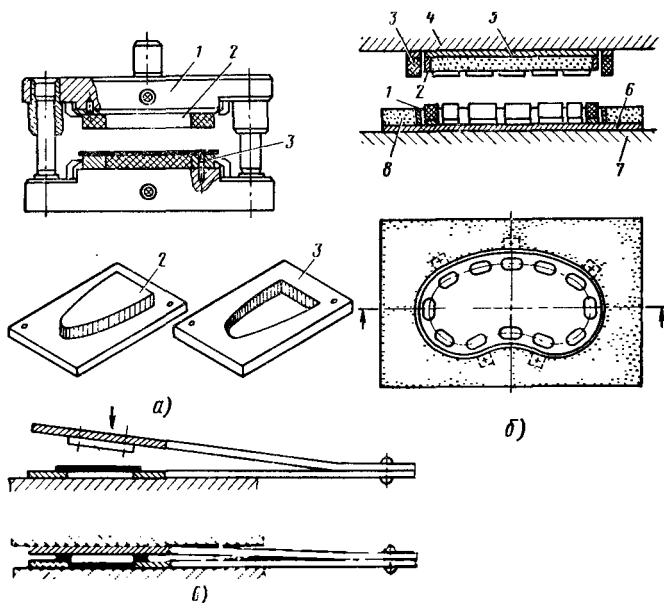


Рис. 6.7. Упрощенные конструкции вырезных штампов:

a — пластинчатого: 1 — универсальный корпус; 2 — пластинчатый пуансон; 3 — пластинчатая матрица; *б* — ленточного, устанавливаемого в электромагнитном блоке: 1 — матрица-лента; 2 — пуансон-лента; 3 — универсальный резиновый съемник; 4 и 7 — верхняя и нижняя плиты электромагнитного блока; 5 и 6 — основания пуансона и матрицы из стали 20 толщиной 1,8 ... 2,5 мм; 8 — наполнитель из эпоксидной композиции (эпоксидная смола ЭД-5, полиэтиленполиамин, дибутилфталат, наполнитель из железного сурика или гипса); *в* — листового или «пинцетного»

электромагнитные блоки. Время установки штампов в этом случае сокращается в 2 ... 3 раза по сравнению с установкой вырезных пар в блоках с механическим креплением.

Наибольшие габаритные размеры деталей, которые вырезают ленточными штампами с применением электромагнитных блоков, 900×1700 мм (из расчета габаритных размеров существующих блоков).

Для вырезки небольшой партии деталей малых и больших размеров из материала толщиной более 0,5 мм применяются листовые (пинцетные) штампы (рис. 6.7, *в*) из стали 30ХГСА, закаленные до твердости HRC 45 ... 50. Листовые штампы не пригодны для вырезки деталей из тонкого материала, так как их конструкция не обеспечивает точного сопряжения матрицы и пуансона.

Точность деталей, вырезанных пластинчатыми и ленточными штампами, находится в пределах 3 ... 4-го классов, а шероховатость поверхности кромок — 3 ... 6-го классов.

При помощи ножниц и штампов можно резать не только листовый материал, но также профили, прутки и трубы. Ножи в этом случае должны быть изготовлены по профилю разрезаемого полуфабриката.

Карты раскроя для вырезки штампами — документ, фиксирующий расположение контуров вырезаемых деталей на полосе (ленте). Характер карты раскроя влияет на качество получаемых деталей, конструкцию вырезного штампа и коэффициент использования материала. Если вырезанные заготовки при последующих операциях подвергаются гибке по малым радиусам, то во избежание появления трещин карту раскроя составляют с учетом направления проката листа (ленты).

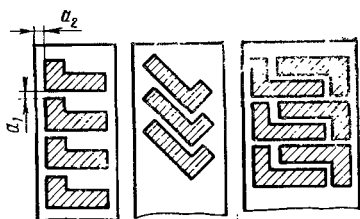


Рис. 6.8. Варианты раскроя лент (полос) при вырезке деталей штампами

Коэффициент использования материала h подсчитывается по формуле

$$h = \frac{S_3 n}{S_{II}} 100\%, \quad (6.7)$$

где S_3 — площадь одной заготовки (детали); n — количество заготовок, получаемых из полосы; S_{II} — площадь полосы (ленты).

На рис. 6.8 показаны варианты раскроя ленты (полосы) при вырезке штампами. Величина перемычек a_1 , a_2 зависит от требований чистоты кромок, толщины материала δ , формы и размеров заготовки (детали) и колеблется от δ до $3,5\delta$. При этом $a_2 = 1,2 a_1$.

Прессы для штамповки-вырезки. Вырезные штампы можно устанавливать на любые прессы, развивающие достаточные усилия. Однако наилучшие результаты достигаются при использовании кривошипных и эксцентриковых прессов с кривошипно-шатунным механизмом для преобразования вращательного движения вала электродвигателя в поступательное движение ползуна. Ползуны этих прессов отличаются быстродходностью.

При работе на прессах с вырезными штампами могут возникнуть положения, опасные для рабочего, что требует предохранительных устройств. Полная безопасность работы штамповщика обеспечивается в случае применения автоматической подачи полуфабриката (заготовок) в штампы и сбрасывателей готовых деталей и отходов.

Обработка резанием. Р а с п и л о в к а. Полуфабрикаты с любым профилем поперечного сечения распиливают на заготовки на дисковых, фрикционных, абразивных и ленточных пилах по разметке или по упору.

Трубы и профили из алюминиевых и магниевых сплавов, меди и стали с $\sigma_b = 300 \dots 700$ МПа ($30 \dots 70$ кгс/мм²) разрезают на дисковых пилах диаметром $300 \dots 350$ мм со скоростью резания $1500 \dots 2500$ м/мин и подачей $500 \dots 4500$ мм/мин. Максимальный размер поперечного сечения заготовок, отрезаемых на дисковых пилах типа 862, зависит от диаметра диска, который достигает 1500 мм и более.

На фрикционных пилах полуфабрикат разделяется вследствие нагрева до температуры плавления стальным диском, вращающимся с большой скоростью. Расплавленный металл удаляется из зоны разделения самим же диском, который охлаждается воздухом и водой. Фрикционными пилами можно разрезать полуфабрикаты из высокопрочных материалов, не поддающихся резке обычными пилами.

Для разделения на заготовки полуфабрикатов высокой твердости используют также абразивные круги диаметром 300 ... 400 мм и толщиной 2 ... 3 мм с вулканитовой связкой. Производительность при этом довольно высока, например, пруток диаметром 40 ... 50 мм разрезается за 5 ... 6 с.

Ленточные пилы применяют для вырезки заготовок из листов и плит с последующим фрезерованием кромок, а также для резки профилей и труб из алюминиевых сплавов. Заготовки и детали из органического стекла и текстолита толщиной до 24 мм (пакет и монолит) вырезают пилами толщиной 0,8 ... 1,2 мм со скоростью резания 300 ... 1400 м/мин и подачи 200 ... 3000 мм/мин.

Фрезерование — наиболее производительный процесс обработки плоских и фасонных поверхностей. По величине допустимого припуска на обработку фрезерование относится к самым универсальным процессам. Наибольший припуск, который можно удалить фрезерованием за один проход, ограничивается лишь надежностью закрепления заготовки, ее жесткостью и мощностью станка. Поэтому фрезерование вытеснило малопродуктивный процесс строгания при помощи резца.

Плоские поверхности фрезеруют торцевыми и цилиндрическими фрезами. Торцевое фрезерование более производительное, чем цилиндрическое вследствие одновременного резания металла заготовки несколькими зубьями и возможностью применения фрез большого диаметра с большим числом зубьев.

Для обработки цилиндрическими фрезами применяют встречное фрезерование, когда вращение фрезы направлено против подачи, и попутное, когда направление вращения фрезы совпадает с направлением подачи. Попутное фрезерование применяют реже, чем встречное, и только на станках большой жесткости, имеющих устройства для устранения зазоров в механизмах подачи, хотя при попутном фрезеровании производительность может быть выше и качество обработанной поверхности лучше.

Фрезерование часто ведут в два прохода: сначала «начерно», а затем «начисто». При черновом фрезеровании получают точность обработки в пределах 4 ... 5-го классов, а шероховатость поверхности — 3 ... 4-го классов. При чистовом фрезеровании точность находится в пределах 3 ... 4-го классов, а шероховатость поверхности — в пределах 6 ... 8-го классов. Фрезерование по шаблонам применяют для вырезки заготовок и плоских деталей из листового материала. При фрезеровании пакетов листов шероховатость поверхности соответствует 4 ... 6-му классам.

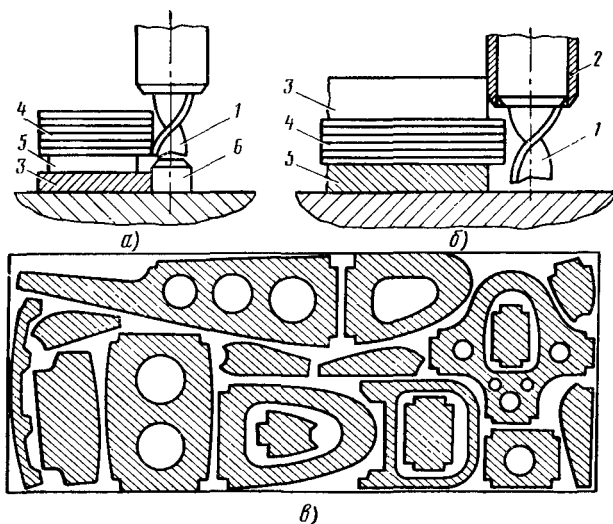


Рис. 6.9. Вырезка заготовок и деталей фрезерованием:
a — на вертикально-фрезерном станке; *б* — на радиально-фрезерном станке; *в* — пример групповой карты раскроя; 1 — фреза; 2 — копирующее кольцо; 3 — шаблон; 4 — пакет листов или карточек; 5 — подкладка; 6 — палец

Пакеты листов из коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов фрезеруют трехзубыми концевыми фрезами (из быстрорежущей стали) диаметром 14 мм, как правило, на специальном копировально-фрезерном станке. Фрезерование можно производить и на универсальных копировально-фрезерных станках, оснащенных специальным прижимом. Рекомендуемая толщина пакетов листов при фрезеровании без предварительной вырезки (по целому) 4 ... 6 мм и 8 — 10 мм — после предварительной вырезки (по периферии).

При фрезеровании внутренних замкнутых контуров в пакете для заходов фрезы предварительно сверлят отверстие диаметром на 1 ... 3 мм больше диаметра фрезы.

Пакеты карточек или листов из алюминиевых и магниевых сплавов фрезеруют двузубыми концевыми фрезами диаметром, как правило, 8 мм со скоростью резания 300 ... 600 м/мин и подачей от 0,5 до 2,5 м/мин на вертикально-, радиально- и копировально-фрезерных станках. Оптимальная толщина пакета 10 ... 12 мм. Если к шероховатости кромок детали предъявляются повышенные требования, то фрезерование осуществляют за два прохода (черновой и чистовой). На чистовой проход оставляют припуск 0,8 мм.

Вертикально-фрезерные станки применяют для вырезки заготовок (деталей) небольших размеров из пакета карточек. Пакет, скрепленный совместно с шаблоном (рис. 6.9, *a*), перемещается рабочим вручную. Детали и заготовки из пакета листов размером

до 1000 ... 3000 мм при групповом раскрое вырезают на радиально-фрезерных станках. Пакет листов с шаблонами фрезерования (ШФ) закрепляют на столе (рис. 6.9, б). Фрезерную головку перемещают вручную. Отход материала при групповом раскрое сравнительно небольшой — 10 ... 25 % (рис. 6.9, в).

Шаблоны ШФ на пакете листов фиксируют и закрепляют по отверстиям. Поэтому радиально-фрезерный станок обычно дополняют вторым хоботом, несущим сверлильную головку. На таких станках (ОС-6, ОС-86) при вырезке заготовок и деталей сначала по шаблону группового раскроя (ШГР), который устанавливается на пакет и вместе с последним прикрепляется к столу станка струбцинами, сверлят в пакете листов все отверстия диаметром обычно 2,5 ... 3 мм. Отверстия для установки ШФ расверливают до диаметра 5 ... 6 мм. По отверстиям, сняв предварительно ШГР, устанавливают на пакет шаблоны фрезерования, привертывают их специальными шурупами (глухарями) к деревянной поверхности стола и производят фрезерование.

Вертикально- и радиально-фрезерные станки обеспечивают достаточную точность вырезки, особенно при фрезеровании в два прохода. Однако производительность станков невысока. Кроме того, перемещение пакетов или фрезерной головки вручную сильно утомляет рабочего.

Для фрезерования пакета листов (из алюминиевых и магниевых сплавов) размером до 1200 × 7000 мм при групповом раскрое наиболее совершенным и производительным является копировальный сверлильно-фрезерный станок КСФ-1М. На станке, кроме фрезерного, есть два вспомогательных сверлильных портала, при помощи которых в пакете листов могут быть просверлены все отверстия. На всех порталах расстояние от оси фрезы или сверла до соответствующих копировальных пальцев одинаково, чем и обеспечивается точная увязка положения отверстий и контуров деталей.

В зоне фрезерной головки установлен «шагающий» прижим, который в процессе фрезерования надежно прижимает пакет листов к столу. Фрезерование ведется автоматически. Точность копирования при следящей системе $\pm 0,1$ мм.

Для вырезки крупногабаритных заготовок и деталей из пакета листов или плит размером до 1500 × 7000 мм и толщиной до 50 мм, обрезки кромок листов и обшивок одинарной и двойной кривизны, а также вырезки в них окон с прямолинейными и криволинейными контурами применяют кромкофрезерный станок ФОЛ-2М. Фрезерование криволинейных контуров производят по копирам при помощи двух однокоординатных систем или по разметочной риске при ручном управлении подачей.

Фрезерные станки должны быть снабжены устройствами, исключающими прикосновения рабочего к фрезе и непрерывно отсасывающими стружку. Работать на фрезерных станках рекомендуется в защитных очках и головных уборах,

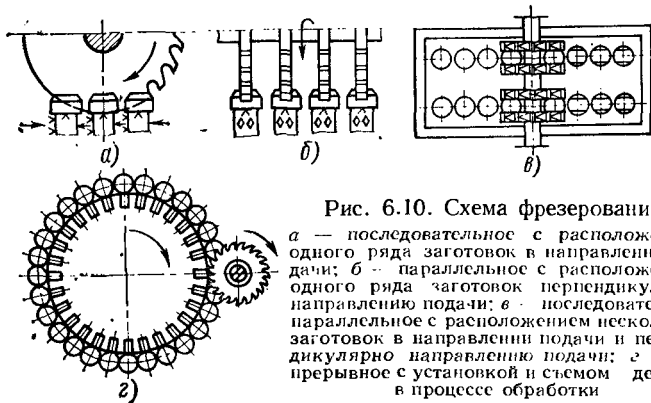


Рис. 6.10. Схема фрезерования:

а — последовательное с расположением одного ряда заготовок в направлении подачи; *б* — параллельное с расположением одного ряда заготовок перпендикулярно направлению подачи; *в* — последовательно-параллельное с расположением нескольких заготовок в направлении подачи и перпендикулярно направлению подачи; *г* — непрерывное с установкой и съемом деталей в процессе обработки

Объемные детали небольших размеров изготавливают на фрезерных станках общего назначения, горизонтально-фрезерных, вертикально-фрезерных и универсально-фрезерных с использованием многоместных приспособлений для последовательного, параллельного и последовательно-параллельного фрезерования (рис. 6.10).

Применение многоместных приспособлений позволяет значительно повысить производительность и создает условия (особенно при непрерывном фрезеровании) для многостаночного обслуживания.

Заготовки большой длины фрезеруют несколькими фрезами на продольно-фрезерных станках.

В авиационной промышленности широко используют специализированные копировально-фрезерные станки. Например, для длинномерных профилей из стали и легких сплавов создана гамма продольно-копировально-фрезерных станков типа ПКФ с длиной станины 8, 12, 16 и 20 м, у которых относительно неподвижного стола перемещается каретка с двумя горизонтальными и одной вертикальной фрезерными головками. Станки оборудованы гидравлической следящей системой, работающей от плоских копиров из стали толщиной 3 ... 4 мм. Боковые кромки, ребра жесткости, окантовки люков на монолитных панелях постоянного сечения размером $1,5 \times 15$ мм фрезеруют на копировально-фрезерных станках типа КФП-1 с двумя фрезерными головками, электрической следящей системой и вакуумным столом.

Для фрезерования наружного и внутреннего контуров монолитных панелей из плит алюминиевых и магниевых сплавов размером $0,7 \times 2$ м применяют станок ПФП-1 с программным управлением (с записью программы на магнитной ленте), а для панелей размером $1,8 \times 4$ м — станок КФГ-3, работающий по жесткому копиру. Заготовки на этих станках закрепляют на вертикальном столе при помощи вакуумного устройства.

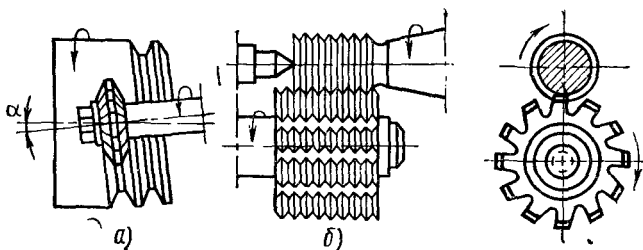


Рис. 6.11. Фрезерование резьбы:
 а — дисковой фрезой; б — групповой фрезой

Точность фрезерования на специализированных копировально-фрезерных станках $\pm 0,1$ мм.

Фрезерование на резьбофрезерных станках типа 562А, 563Б широко применяют для получения крупной наружной и внутренней треугольной и трапецидальной резьбы. При этом точность резьб может быть получена в пределах 1 .. 2-го классов, а внутренних — 3-го класса при сравнительно невысоком классе шероховатости поверхности. Нарезание резьбы осуществляется дисковой или групповой фрезами. Дисковые фрезы применяют при нарезании резьб с большим шагом и крупным профилем за один проход, а для очень крупных резьб — за два или три прохода. Профиль фрезы соответствует профилю резьбы. Ось фрезы располагают под углом к оси детали, равным углу подъема резьбы (рис. 6.11, а). В процессе нарезания резьбы фреза вращается и перемещается поступательно вдоль оси медленно вращающейся заготовки. Продольное перемещение фрезы за один оборот детали должно соответствовать шагу резьбы.

Фрезерование групповой фрезой применяют для коротких резьб с мелким шагом (рис. 6.11, б). Длина групповой фрезы обычно принимается на 2 ... 5 мм больше длины фрезеруемой резьбы. Фреза располагается параллельно оси заготовки. Предварительно производят врезание фрезы на глубину резьбы, после чего включают подачу. За время полного оборота детали фреза перемещается на величину шага резьбы. Практически фрезерование резьбы происходит за 1, 2 оборота детали; 0,2 оборота детали необходимо для врезания фрезы на глубину резьбы и на перекрытие места врезания.

Станки для нарезания резьб групповыми фрезами работают по полуавтоматическому и автоматическому циклам. Недостатком этого способа фрезерования является искажение профиля резьбы вследствие подрезания ее инструментом.

С в е р л е н и е. При сверлении получают отверстия 4 ... 5-го классов точности и 2 ... 3-го классов шероховатости поверхностей. При сверлении на сверлильных станках увод сверла от заданного направления больше, чем на станках токарной группы. Это объясняется малой жесткостью инструмента и несбаланси-

рованностью боковых сил, действующих на сверло. Для уменьшения увода сверла при обработке отверстий на сверлильных станках применяют кондукторы с направляющими (кондукторными) втулками.

Отверстия диаметром более 30 мм обычно сверлят несколькими сверлами: предыдущее диаметром 0,5 ... 0,7 от диаметра последующего. При сверлении отверстия под резьбу учитывают подъем резьбы по высоте в процессе ее нарезания. Поэтому обычно сверла под резьбу берут такого диаметра, чтобы расчетная глубина резьбы составляла 70 ... 80% от полной.

Для сверления отверстий диаметром 80 ... 200 мм, длиной до 500 мм широко используют кольцевые сверла, которые вырезают в сплошном металле лишь кольцевую поверхность. Остающаяся внутренняя часть заготовки используется для изготовления других деталей.

Кольцевые сверла поставляются с несколькими комплектами запасных взаимозаменяемых быстрорежущих ножей в заточенном виде. Затулившиеся ножи сверловщик заменяет без снятия сверла со станка. Эти сверла применяют на токарных, расточных, револьверных и радиально-сверлильных станках с обычной системой подачи охлаждающей жидкости. Производительность труда при этом повышается в 4 раза по сравнению со сверлением обычными сверлами для глубокого сверления. Шероховатость поверхности отверстия соответствует 3 ... 4-му классу.

З е н к е р о в а н и е применяют с целью повышения точности и частоты поверхности отверстий после отливки или штамповки заготовок или после сверления. Точность зенкерования отверстий после сверления соответствует 4 ... 3-му классу, а шероховатость поверхности — 4 ... 6-му классу.

Зенкерование часто применяют в виде промежуточной обработки отверстия после сверления или черного растачивания перед развертыванием (см. рис. 6.16 и 6.17). В силу того, что зенкер обладает большой жесткостью, лучшим направлением и большим числом режущих кромок (3 и более), зенкерование обеспечивает повышение класса шероховатости поверхности и большую производительность по сравнению с рассверливанием и растачиванием отверстий. При этом необходимо иметь в виду относительно большие припуски на зенкерование, обычно 1 ... 3 мм.

Зенкеры применяют для обработки не только цилиндрических и конических отверстий, но и торцевых и фасонных поверхностей. На рис. 6.12 показаны разновидности торцевых зенкеров — зенковка и цековка. Зенковки применяют для снятия фасок, цековки — для обработки цилиндрических углублений или торцевых выступающих поверхностей под головки болтов и гаек. Обработку ведут на сверлильных, фрезерных или токарных станках.

Р а з в е р т ы в а н и е применяют с целью придания цилиндрическому отверстию наиболее точных размеров и высокого

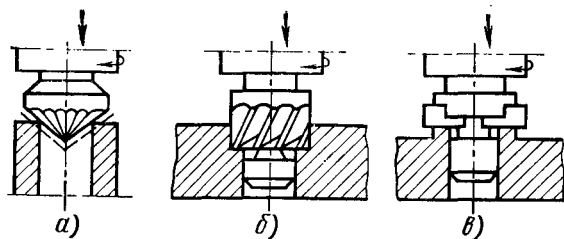


Рис. 6.12. Зенкерование торцевых поверхностей: а — зенковка; б — цековка с несколькими зубьями и направляющей цапфой; в — цековка со вставными зубьями и направляющей цапфой

класса шероховатости поверхности. Развертывание производят после предварительного сверления и зенкерования или сверления и растачивания многолезвийным инструментом — разверткой с прямыми или спиральными (для обработки вязких материалов) режущими лезвиями. Для развертывания отверстий диаметром до 30 мм применяют цельные развертки, а диаметром до 150 мм — насадные или со вставными ножами.

Развертывание рассчитано на снятие небольшого припуска — 0,15 ... 0,5 мм на сторону для черного развертывания и 0,05 ... 0,25 мм — для чистового. При этом точность отверстий достигает 2 ... 3-го класса, а шероховатость поверхности — 7 ... 9-го класса.

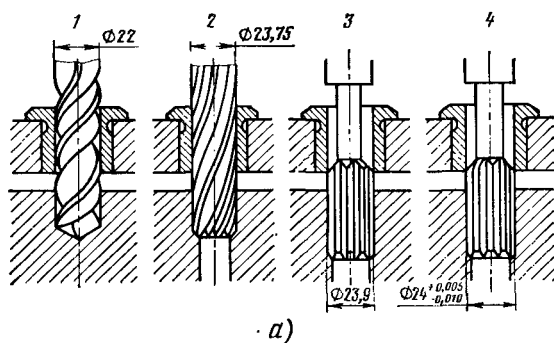
Точность развертывания зависит не только от величины припуска и точности развертки, но и от совпадения оси развертки с осью отверстия, подлежащего развертыванию. Несовпадение осей развертки и отверстия приводит к разбиванию отверстия. Поэтому при развертывании отверстий чистовыми развертками на токарных и револьверных станках применяют качающиеся оправки, которые компенсируют несопадение осей отверстия и развертки. Самоцентрирующиеся (плавающие) развертки применяют для удаления тонкой стружки. Эти развертки представляют собой свободно вставленные в державку пластины. При развертывании они направляются самим отверстием и поэтому не выправляют кривизну и положение оси, но дают чистую поверхность и точный диаметр отверстия. Износ пластин компенсируется их регулировкой. Такие развертки применяют для обработки отверстий диаметром от 25 до 500 мм. Для получения отверстий диаметром более 30 мм 3-го класса точности с шероховатостью поверхности 5 ... 7-го классов после сверления применяют зенкерование и развертывание, а диаметров менее 30 мм — только развертывание.

При обработке отверстий диаметром 15 ... 20 мм по 2-му классу точности с шероховатостью поверхности 5 ... 7-го классов после сверления применяют зенкерование и развертывание, а для диаметров более 20 мм после сверления и зенкерования — черновое и чистовое развертывание.

На рис. 6.13, а показана схема обработки точного цилиндрического отверстия на сверлильном станке с указанием размеров отверстия, определяющих припуск под каждый инструмент.

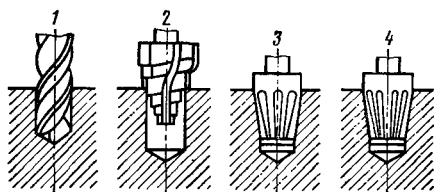
Рис. 6.13. Схема обработки отверстий;

а — цилиндрического; б — конического; 1 — сверление; 2 — зенкерование; 3 — черновое развертывание; 4 — чистовое развертывание



а)

Для обработки точных конических отверстий применяют комплект из конических зенкеров и разверток. На рис. 6.13, б показана последовательность обработки точных конических отверстий. При диаметрах более 25 мм рекомендуется сверлить последовательно несколькими сверлами различного диаметра для образования ступенчатого отверстия, приближающегося по форме к коническому зенкеру.



б)

Точение — удаление слоя материала в виде стружки с поверхностей вращающейся заготовки поступательно перемещающейся режущим инструментом (резцом) или с поверхностей поступательно перемещающейся заготовки — вращающимся режущим инструментом. Точением получают наружные и внутренние цилиндрические, конические и фасонные поверхности тел вращения на станках токарной группы.

Удаление слоя материала с внешних поверхностей заготовки называют *обтачиванием*, а с внутренних — *расточиванием*.

В зависимости от достигаемой точности и шероховатости обрабатываемой поверхности точение подразделяют на черновое, чистовое и тонкое. При черновом точении удаляют наибольшую часть припуска на обработку. При этом получают точность в пределах 4 ... 7-го класса и шероховатость поверхности 3 ... 4-го класса. Применяют резцы типа Т15К10, глубину резания до 5 мм и подачу 0,2 ... 1,0 мм/об. При чистовом точении обработку ведут резцами Т60К6, Т30К4 с подачей до 0,2 мм/об, получая точность обработки 2 ... 4-го класса и шероховатость поверхности 5 ... 7-го класса. Тонким (алмазным) точением получают поверхности высокой точности (до 1-го класса) и шероховатости поверхности до 9-го класса. Обработку ведут с небольшими глубиной резания (0,1 ... 0,3) мм и подачей (0,02 ... 0,1 мм/об) со скоростью резания в зависимости от свойств обрабатываемого

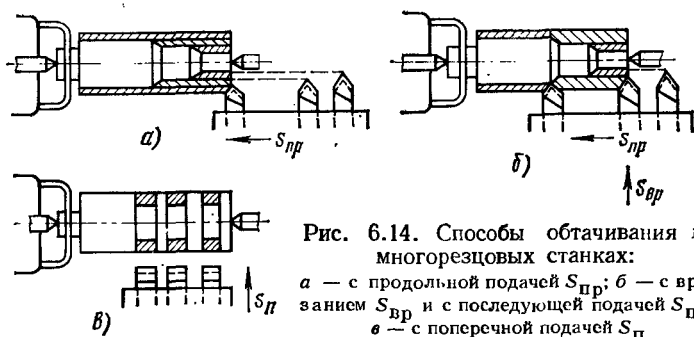


Рис. 6.14. Способы обтачивания на многорезцовых станках:

а — с продольной подачей $S_{пр}$; б — с врезанием $S_{вр}$ и с последующей подачей $S_{пр}$; в — с поперечной подачей $S_{п}$

материала (150 ... 1500 м/мин). Тонкое точение выполняют на станках повышенной точности типа 161Э, 161Л с использованием для обработки сталей резцов из твердых сплавов, а для обработки цветных сплавов — алмазных.

Заготовки на станках токарной группы закрепляют в центрах, патронах или на планшайбах.

При точении цилиндрических внутренних и наружных поверхностей одной детали необходимая концентричность их достигается обработкой за одну установку или предварительной обработкой отверстия с последующей установкой заготовки на оправку для точения наружной поверхности.

Длинные нежесткие валы (с отношением длины к диаметру более 12) обтачивают с применением люнетов: неподвижных, закрепляемых на станине станка, и подвижных, закрепляемых на каретке станка. Подвижный люнет перемещается непосредственно за резцом, при этом обточенная поверхность опирается на кулачки люнета. Подвижный люнет располагают впереди резца в случае, когда необходима соосность обтачиваемой поверхности и поверхности, ранее обточенной.

В крупносерийном и массовом производстве для снижения трудоемкости широко используется принцип концентрации рабочих ходов, т. е. одновременное обтачивание нескольких поверхностей несколькими резцами на многорезцовых станках — полуавтоматах типа 1721 и 1731. Эти станки имеют два суппорта: передний с продольным и поперечным перемещением и задний только с поперечным. Передний суппорт служит в основном для продольного обтачивания заготовок, а задний — для подрезания торцов, прорезания канавок, фасонного обтачивания. Многоместные суппорты оснащаются большим количеством резцов (до 20). Движение суппортов автоматизировано; по окончании обработки они возвращаются в исходное положение автоматически.

Обтачивание на многорезцовых станках выполняют следующими способами:

1) с продольной подачей (рис. 6.14, а), когда резцы установлены каждый на определенный диаметр и по мере продольного

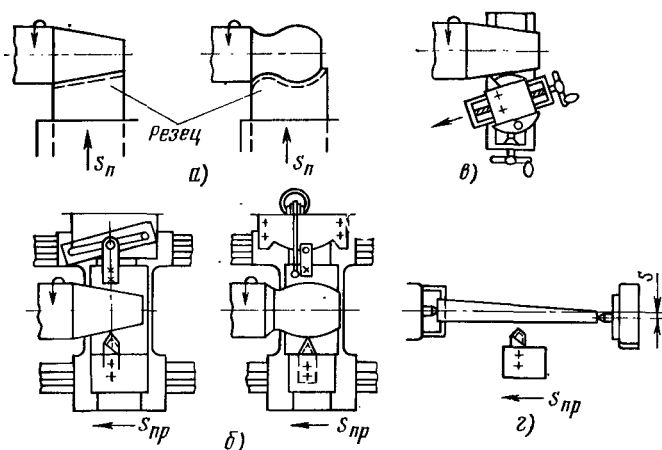


Рис. 6.15. Обтачивание конусных и фасонных поверхностей:

Обтачивание фасонных поверхностей: а — широкими резцами с поперечной подачей; б — по копиной линейке и копиру. Обтачивание конусных поверхностей: в — поворотом верхнего поперечного суппорта с ручной подачей; г — смещением задней бабки станка с продольной подачей

перемещения суппорта последовательно вступают в работу. Длина отдельных ступеней обтачивания определяется взаимным расположением резцов;

2) с врезанием и последующей продольной подачей (рис. 6.14, б), когда резцы вначале врезаются на необходимую глубину от поперечной подачи суппорта, а затем от продольной. Каждая ступень заготовки обтачивается одним резцом, вследствие чего суппорт совершает путь, равный длине наиболее длинной ступени. Для сокращения длины хода суппорта длинная ступень обтачивается двумя и более резцами;

3) с поперечной подачей (рис. 6.14, в), когда каждый резец обтачивает данную ступень врезанием. Ширина режущей кромки резца соответствует длине обрабатываемой ступени. Этот способ имеет ограниченное применение при обработке коротких цилиндрических, конических и фасонных поверхностей.

Многорезцовые полуавтоматы предназначены в основном для обтачивания поверхностей при изготовлении сравнительно крупных деталей. Однако способы, приведенные на рис. 6.14, характерны и для обтачивания и для растачивания поверхностей при изготовлении деталей небольших размеров на токарно-винторезных, револьверных станках и токарных автоматах с применением многоинструментальных оправок.

Конические и фасонные поверхности в зависимости от их длины, конусности и конфигурации, а также от жесткости заготовок на станках токарной группы получают следующими способами: а) при помощи широких фасонных резцов (до 60 мм) с поперечной подачей не более 0,1 мм/об (рис. 6.15, а); б) по копиру, задающему

перемещение поперечному суппорту, а следовательно, и рецу, закрепленному на рецзовой головке суппорта (рис. 6.15, б).

Конические поверхности могут быть получены также поворотом верхнего поперечного суппорта с ручной подачей реца в направлении образующей конуса (для конических поверхностей небольшой длины) или сдвигом задней бабки токарного станка (для длинных конических валов, закрепляемых в центрах), как показано на рис. 6.15, в, г. При этом величину смещения задней бабки рассчитывают по формуле

$$S = \frac{L(D-d)}{2l}, \quad (6.8)$$

где L — длина детали; l — длина конусной части; D , d — больший и меньший диаметр конуса.

Требуемую точность обработки внутренних поверхностей получить труднее, чем наружных поверхностей вращения. Необходимость применения консольных оправок и борштанг снижает жесткость системы СПИД (станок — приспособление—инструмент—деталь) и повышает возможность возникновения вибраций. Поэтому допуски на точность отверстий 1-го и 2-го класса больше, чем на наружные цилиндрические поверхности тех же размеров и точности.

Н а р е з а н и е р е з ь б. В авиационном производстве применяют цилиндрические резьбы — крепежные и ходовые и конические. Наружную резьбу нарезают резцами, гребенками, рецзовыми головками, плашками и самораскрывающимися резьбо-нарезными головками. Внутреннюю резьбу нарезают резцами и метчиками.

Выбор способа нарезания резьбы зависит от профиля резьбы, свойств материала детали, требуемой точности и объема выпуска деталей.

Точность резьбы определяют по ее среднему диаметру. Резьбу обычно нарезают по 2-му и 3-му классам точности, что приблизительно соответствует 4-му и 5-му классам точности для гладких валиков и отверстий.

Метрическую треугольную резьбу обычно нарезают резцами или гребенками на токарно-винторезных станках. Резцами нарезают наружную и внутреннюю резьбу за несколько (3 ... 8) черновых и чистовых проходов. Этот процесс малопроизводительный (рис. 6.16, а). Резьбовыми гребенками, имеющими несколько режущих лезвий, резьбу нарезают за один проход. Этот процесс более производительен, но не всегда применим из-за наличия значительной заходной части (рис. 6.16, б).

Профиль резьбы зависит от профиля реца или гребенки и правильной установки их относительно детали. Для сохранения точности профиля реца применяют фасонные рецы призматические и дисковые (рис. 6.15, в и г). Эти рецы затачиваются по

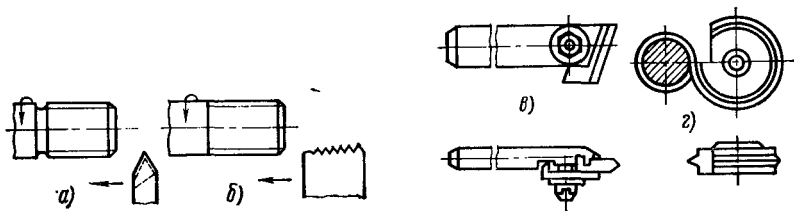


Рис. 6.16. Нарезание резьбы:

a — резцом; *б* — гребенкой; *в* — призматическим резцом; *г* — дисковым резцом

передней поверхности, а отшлифованные при их изготовлении боковые поверхности сохраняют профиль неизменным.

Вращающимися резцовыми головками (вихревым методом) резьбу нарезают на токарно-винторезных, резьбонарезных и резьбофрезерных станках. Деталь закрепляют в центрах (для наружной резьбы) или в патроне станка (для внутренней резьбы), а резьбовую головку с двумя или четырьмя резцами — на суппорте станка эксцентрично относительно оси детали. Головка приводится во вращение от специального привода, при этом резцы, закрепленные в ней, описывают окружность, диаметр которой больше диаметра детали (рис. 6.17, *a*). Периодически (один раз за каждый оборот головки) каждый резец соприкасается с поверхностью вращающейся заготовки по дуге и прорезает серповидную канавку, имеющую профиль резьбы.

За каждый оборот заготовки при перемещении вращающейся головки вдоль оси заготовки на величину шага резьбы на обрабатываемой поверхности образуется один виток резьбы. При этом ось резцовой головки должна быть наклонена относительно оси заготовки на величину угла подъема резьбы.

Вихревое нарезание наружной резьбы с внешним касанием можно производить и по схеме, представленной на рис. 6.17, *б*. Но в силу образования более короткой и толстой стружки и получения менее чистой поверхности резьба по этой схеме нарезается реже. При вихревом нарезании внутренней резьбы резцы описывают окружность, диаметр которой меньше внутреннего диаметра детали (рис. 6.17, *в*).

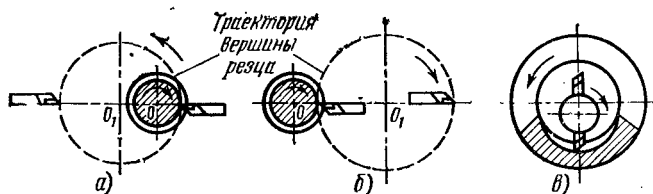


Рис. 6.17. Нарезание резьбы вихревым методом:

a и *б* — наружной резьбы; *в* — внутренней резьбы

При вихревом нарезании резьбы скорость резания, соответствующая скорости вращения резца, принимается от 150 до 450 м/мин, круговая подача от 0,2 до 0,8 мм за один оборот резца. Процесс высокопроизводительный, ведется без охлаждения инструмента и применим для нарезания крупных резьб на деталях из высокопрочных и труднообрабатываемых материалов.

Ручное управление станком при нарезании резьбы непроизводительно, поэтому отечественная промышленность выпускает резьбонарезные полуавтоматы и специальные головки для токарных станков, позволяющие автоматизировать процесс нарезания резьбы (например, полуавтомат типа 1921).

Нарезание резьбы плашками и самораскрывающимися нарезными головками производят на токарно-винторезных, револьверных станках, токарных полуавтоматах и автоматах.

Основной недостаток плашек — необходимость свинчивания их по окончании нарезания резьбы, что вызывает непроизводительные затраты времени и ухудшает качество работ при низкой точности резьбы (3-й класс и ниже).

Нарезание резьбы самораскрывающимися резьбонарезными головками в 3 ... 4 раза производительнее, чем плашками вследствие автоматического раскрытия и позволяет получать резьбу 2-го и 1-го классов точности с высокой скоростью резания. При этом возможны нарезание резьбы в два прохода одним инструментом и компенсация износа режущих кромок, допускается значительное число переточек, а производительность для малых и средних резьб превышает производительность резьбофрезерования.

Внутреннюю резьбу часто нарезают ручными машинными метчиками (комплект из двух и трех штук). Машинные метчики используют главным образом при работе на сверлильных станках, но применяют также и на токарных и револьверных. Машинные метчики бывают цельные, со вставными ножами, прямые и гаечные. При нарезании резьбы в сквозных отверстиях с использованием станков обычно применяют один метчик. Два-три метчика применяют для длинных резьб или при нарезании резьбы в глухих отверстиях. Для нарезания резьбы в отверстиях малых и средних диаметров применяют цельные метчики, а в отверстиях диаметром до 300 мм — со вставными ножами или резьбонарезные головки с раздвижными плашками.

Протягивание состоит в перемещении специального многозубого инструмента — протяжки относительно предварительно обработанной поверхности заготовки. Протяжка имеет последовательно возрастающие размеры по сечению. При этом в зоне калибрующихся зубьев она соответствует заданному размеру отверстия, паза или других обрабатываемых поверхностей.

Протягиванием обрабатывают поверхности деталей, обладающих достаточной жесткостью в направлении движения протяжки.

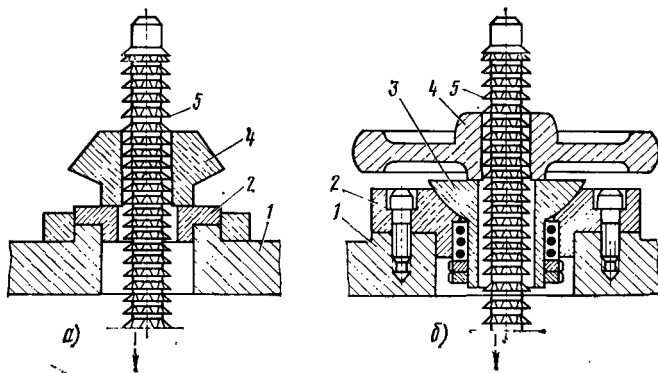


Рис. 6.18. Установка заготовок при протягивании:

a — на жесткой опоре; *б* — на шаровой опоре; 1 — лобовая часть станка; 2 — опорная шайба; 3 — шаровая опора; 4 — обрабатываемая заготовка; 5 — протяжка

По расположению на заготовке поверхностей, подлежащих обработке, различают наружное и внутреннее протягивание.

При внутреннем протягивании заготовку устанавливают на жесткой или шаровой опоре, к которой заготовка прижимается силой резания. На жесткую опору заготовку устанавливают торцом, подрезанным перпендикулярно оси отверстия (рис. 6.18, *a*). В случае неперпендикулярности торца заготовки к оси протягивания заготовку устанавливают на шаровой опоре (рис. 6.18, *б*).

Если длина отверстия у заготовки не превышает двух-трех шагов протяжки, необходимо протягивать отверстия одновременно у нескольких заготовок пакетом, что повышает производительность станка.

При наружном протягивании заготовку закрепляют на лобовой части станка в специальном жестком приспособлении, определяющем расположение протяжки относительно обрабатываемой поверхности.

Протягиванием можно получать точные фасонные отверстия и контуры разнообразных форм. Средняя экономическая точность протягивания соответствует 3... 2-му классу, а шероховатость поверхности при наличии калиброванных зубьев — 7...9-му.

Для протягивания применяют горизонтальные и вертикальные станки с гидравлическим приводом, с одним или несколькими шпинделями.

Протягивание широко применяют в крупносерийном и массовом производстве, где относительно высокая стоимость протяжки окупается высокой производительностью. Протягивание часто применяют вместо развертывания круглых отверстий, что повышает производительность в 8...10 раз, а также вместо фрезерования плоских и фасонных поверхностей, что снижает время обработки в 3...8 раз.

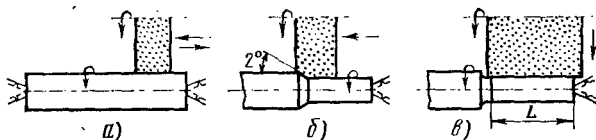


Рис. 6.19. Схемы наружного круглого шлифования:

а — с большой продольной подачей и малой глубиной; б — с малой продольной подачей и большой глубиной; в — только с поперечной подачей (врезанием)

В мелкосерийном производстве протягивание применяют в том случае, когда этот процесс является единственным, позволяющим получать высокие точность и чистоту поверхностей в многогранных, шлицевых и других фасонных отверстиях.

Для обработки сквозных отверстий в заготовках небольшой толщины, а также для обработки глухих отверстий применяют *прошивки*, которые проталкиваются через отверстие, и в отличие от протяжек, работающих на растяжение, работают на продольный изгиб. Поэтому длина прошивки не превышает $15d$ (d — диаметр прошивки). Наиболее распространенная длина прошивок 150 ... 300 мм. Протягивают сквозные и глухие отверстия обычно на гидравлических, пневматических, механических и ручных прессах.

Ш л и ф о в а н и е — основной процесс получения точных (3... 1-й класс) с шероховатостью 7...10-го класса наружных и внутренних поверхностей на деталях из высокопрочных металлов.

Шлифование цветных металлов затруднено из-за склонности шлифовального круга к «засаливанию». Поверхности деталей из цветных сплавов и чугуна шлифуют (если этого нельзя избежать) мягкими и пористыми кругами из абразивного материала карбида кремния (SiC).

Для шлифования деталей из закаленной стали применяют «мягкие», а из незакаленной — «твердые» круги из абразивного материала — кристаллической окиси алюминия (Al_2O_3).

Для шлифования наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей вращения применяют универсальные круглошлифовальные и бесцентрово-шлифовальные станки, а для шлифования плоских поверхностей — плоскошлифовальные станки.

Наружное круглое шлифование ведут:

а) с большой продольной подачей (0,3...0,8 ширины круга за один оборот шлифуемой заготовки) и малой глубиной (0,005... 0,02 мм). Припуск удаляют за несколько десятков проходов (рис. 6.19, а):

б) с малой продольной подачей (0,08...0,15 ширины круга за один оборот заготовки) и большой глубиной (0,1...0,3 мм). Весь припуск на шлифование удаляют за один проход. Этот (глубинный) метод шлифования более производителен, но применим при обработке достаточно жестких заготовок (рис. 6.19, б);

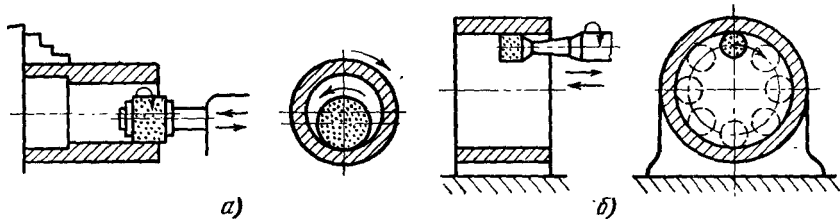


Рис. 6.20. Схемы внутреннего шлифования:

а — при вращающейся заготовке на круглошлифовальных станках; *б* — при неподвижной заготовке на станках с планетарным движением шпинделя

в) только с поперечной подачей (врезанием). Ширина шлифовального круга при этом должна быть больше шлифуемой поверхности, а деталь должна иметь высокую жесткость. Максимальная длина шлифуемой поверхности $L \approx 300$ мм, подача 0,001... 0,008 мм/об детали (рис. 6.19, *в*).

Шлифование врезанием — высокопроизводительный процесс. Применяется для получения фасонных и ступенчатых поверхностей (с правкой кругов по копиру), позволяет обрабатывать одновременно несколько поверхностей одной или нескольких деталей и легко автоматизируется вследствие малого числа рабочих движений станка.

Внутреннее круглое шлифование применяют в основном для отверстий в закаленных шлицевых и тонкостенных деталях, когда нельзя применить другие, более производительные процессы чистой обработки (расточивание, развертывание, протягивание). При этом нужно учитывать трудности шлифования отверстий небольшого диаметра (3...10 мм), когда малая жесткость системы не обеспечивает высокой точности обработки.

Внутреннее круглое шлифование производят при вращающейся детали, закрепленной в патроне (рис. 6.20, *а*), и при неподвижной детали на станках с планетарным движением шпинделя (рис. 6.20, *б*). Первый способ получил наибольшее распространение вследствие более высокой производительности и универсальности. Второй способ применяется только для отверстий в крупных деталях несимметричной внешней формы, для которых другие процессы шлифования применять невозможно.

Бесцентровое шлифование наружных поверхностей в зависимости от формы детали производят с продольной подачей за несколько проходов и с поперечной подачей (врезанием) за один проход (рис. 6.21, *а*).

Шлифование с продольной подачей применяют для деталей без буртиков. Для продольной подачи ведущий круг поворачивают относительно горизонтальной оси на 2...6°. С изменением угла наклона ведущего круга изменяется величина подачи: чем больше угол, тем больше подача и ниже класс шероховатости,

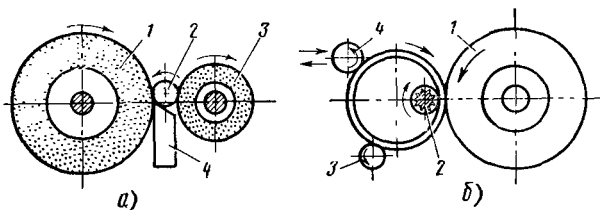


Рис. 6.21. Схема бесцентрового шлифования:

а — наружного; 1 — шлифовальный круг; 2 — деталь; 3 — ведущий круг; 4 — опора (нож); б — внутреннего; 1 — ведущий круг; 2 — шлифовальный круг; 3 — поддерживающий ролик; 4 — нажимной ролик

Шлифование с поперечной подачей (врезанием) применяется в основном для деталей с буртиками и конусами. При шлифовании врезанием цилиндрических деталей оси ведущего и шлифующего кругов параллельны. Для шлифования конусных поверхностей ведущий круг заправляют на конус, а опору (нож) устанавливают под углом к горизонтальной оси. Производительность при шлифовании врезанием выше, чем с продольной подачей.

Бесцентровое шлифование внутренних поверхностей (рис. 6.21, б) производят как с продольной подачей за один или несколько проходов (для сквозных отверстий в цилиндрических деталях), так и с поперечной подачей (для глухих цилиндрических и для конических отверстий) за один проход.

Деталь, предварительно отшлифованная по наружному диаметру, направляется и поддерживается двумя роликами. Она имеет скорость ведущего круга 1, который вращает деталь и в то же время удерживает ее от возможного вращения с большей, чем требуется скоростью. Верхний нажимной ролик 4 прижимает деталь к ведущему кругу 1 и поддерживающему ролику 3.

Бесцентровое шлифование внутренних поверхностей применяют для отверстий диаметром 10...200 мм. Точность обработки при этом достигает 1-го класса, а шероховатость поверхности — 9-го класса.

Плоское шлифование выполняют на плоскошлифовальных станках торном или периферией круга (рис. 6.22). Производительность плоского шлифования выше других способов шлифования при высокой (2-й класс) точности и шероховатости (9...10-й класс) поверхности.

В самолетостроении плоское шлифование применяют сравнительно редко, удовлетворяясь более производительными процессами обработки поверхностей — фрезерованием и протягиванием.

При всех видах шлифования применяют охлаждающую жидкость (вода—соль—масло). Правку шлифовальных кругов производят алмазом или дисками из твердых сплавов. Стойкость шлифовальных кругов между правками при наружном шлифовании составляет ~15 мин, при внутреннем ~2—5 мин.

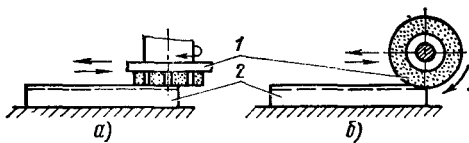


Рис. 6.22. Схемы плоского шлифования: а - торцом шлифовального круга; б - периферией шлифовального круга; 1 - шлифовальный круг; 2 - деталь

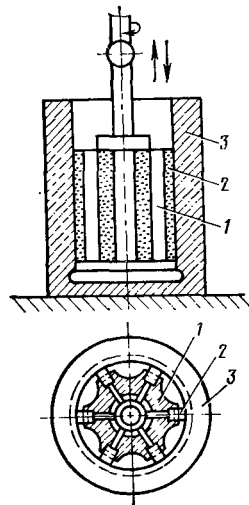


Рис. 6.23. Схема хонингования: 1 - корпус хона; 2 - абразивный брусок; 3 - деталь

Хонингование — особый вид шлифования в основном внутренних поверхностей вращения размерным инструментом — хонем. Хон представляет собой головку с шестью и более мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в оправках, раздвигающихся в радиальном направлении с помощью механических, гидравлических или пневматических устройств, что обеспечивает размерную обработку. В процессе обработки заготовка неподвижна, а хон, связанный со шпинделем, получает вращательное и возвратно-поступательное движение (рис. 6.32).

Хонингование ведут после чистового растачивания, шлифования или развертывания отверстий с припуском на обработку 0,03...0,2 мм. При этом точность получают в пределах 2...1-го класса, а шероховатость поверхности — 9...13-го классов.

Скорость возвратно-поступательного движения хона 10...15 м/мин, скорость вращения 30...60 м/мин. При хонинговании обрабатываемую поверхность смачивают смесью керосина с маслом.

В самолетостроении хонингование широко применяют для обработки внутренних цилиндрических поверхностей диаметром 15...500 мм и длиной до 2300 мм при изготовлении деталей гидросистем на хонинговальных станках 384, 385 и 386, работающих по автоматическому циклу.

Су пер ф и н и ш — особо тонкая отделочная обработка (полирование) поверхностей мелкозернистыми абразивными брусками при сложном рабочем движении, небольшой скорости резания (~15 м/мин) и малых давлениях брусков на обрабатываемую поверхность 0,05...0,25 МПа (0,5...2,5 кгс/см²).

При применении смазки определенной вязкости (например, 10 частей керосина и 1 часть турбинного или веретенного масла) процесс автоматически прекращается по достижении заданной

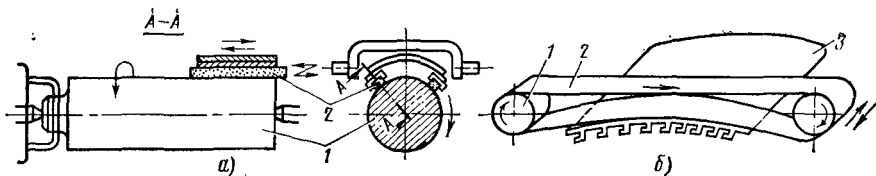


Рис. 6.24. Схема полирования:

а — суперфиниширование; 1 — деталь; 2 — абразивный брусок; б — полирование внешней поверхности панели широкой лентой; 1 — ролик; 2 — лента; 3 — панель

шероховатости поверхности. После удаления гребешков микронеровностей между абразивными брусками и обрабатываемой поверхностью образуется сплошная масляная пленка, и процесс снятия стружки прекращается.

Толщина удаляемого суперфинишированием слоя металла 0,004...0,007 мм, при этом шероховатость поверхности достигает 14-го класса при ничтожно малой величине дефектного слоя. Суперфинишированием обрабатывают внешние и внутренние цилиндрические поверхности деталей из любых материалов.

Рабочие движения головки комбинируют так, чтобы абразивные зерна брусков не проходили дважды по одному и тому же пути. Для простейших схем суперфиниширования характерны следующие движения: вращение детали со скоростью 1...12 м/мин, короткие возвратно-поступательные (осциллирующие) движения брусков от 500 до 12 000 двойных ходов в 1 мин с амплитудой 1,5...5 мм, медленное движение брусков вдоль обрабатываемой поверхности с продольной подачей $\sim 0,1$ мм/об (рис. 6.24, а).

Бруски промежуточной правке не подвергаются, они самозатачиваются об острия шероховатости в первые секунды обработки. Процесс весьма производительный. Машинное время в зависимости от размеров обрабатываемой поверхности составляет 3...50 с.

В самолетостроении для суперфиниширования применяют специальные станки типа СФШ-1 или универсальные токарные и шлифовальные станки с установкой на них специальных головок.

Механическое полирование — процесс чистой обработки поверхностей мягкими (войлочными, фетровыми, суконными) кругами с нанесенным на них мелкозернистым абразивом, смешанным со смазкой в виде пасты (ГОИ).

Механическим полированием получают высокий класс шероховатости поверхности (10...12-й) и в отличие от суперфиниширования обрабатывают поверхности сложной конфигурации после шлифования или тонкого обтачивания. Процесс высокопроизводительный, время обработки от долей минуты до нескольких минут.

При применении эластичных кругов из мелкозернистого абразива с графитовым наполнителем на органических связках исклю-

чаются пасты, периодическое нанесение которых на мягкие круги отнимает много времени, и повышается производительность труда в 6 ... 8 раз.

Полирование ведут периферией или торцом круга со скоростью 20 ... 30 м/с. Поверхности простых форм полируют по схеме круглого или бесцентрового шлифования на станках упрощенной конструкции с механической подачей. Для полирования поверхностей большого размера (монолитные панели) выпуклой формы применяют станки типа ШПП-1 с широкой лентой, покрытой тонким слоем абразива или абразивной пасты (рис. 6.24, б).

Гидрополирование — (абразивно-жидкостная обработка) — воздействие на поверхность детали абразивными частицами, взвешенными в жидкости в пропорции 1 : 4 по объему. Состав подается из специальной насадки (сопла) сжатым воздухом под давлением 0,4 ... 0,5 МПа (4 ... 5 кгс/см²). Абразивные частицы срезают гребешки неровностей и слегка наклепывают поверхность детали. Шероховатость обработанной поверхности в зависимости от зернистости абразива и содержания его в жидкости — 7 ... 9-й класс.

Гидрополирование имеет широкую область применения. Его используют как для очистки поверхностей штамповок и отливок от окалины, ржавчины, пригаров, так и для полирования поверхностей деталей сложной конфигурации (с полостями), обработка которых кругами или лентами невозможна.

§ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Такие процессы, как электроконтактный и электроэрозионный, применяют для изготовления деталей из токопроводящих полуфабрикатов и жаропрочных, нержавеющей, высоколегированных и закаленных сталей, титановых и других сплавов, трудно поддающихся обработке резанием.

Электроконтактная обработка основана на том, что проходящий через место контакта инструмента и полуфабриката электрический ток разогревает, размягчает и плавит металл, облегчая удаление последнего из зоны обработки. Для предотвращения плавления инструмента ему придают большую скорость перемещения, либо применяют искусственное охлаждение. Обработка производится преимущественно на переменном токе 100 ... 1200 А при напряжении 36 В в воздушной среде или водной суспензии каолина. Удельное давление инструмента (например, диска, вращающегося с окружной скоростью 15 ... 20 м/с) на полуфабрикат 20 ... 100 кПа (0,2 ... 1 кгс/см²), интенсивность съема металла 1000... 5000 мм³/мин, шероховатость поверхности 1 ... 3-й класс. С увеличением производительности снижается класс шероховатости поверхности и увеличивается глубина термического изменения металла в зоне обработки.

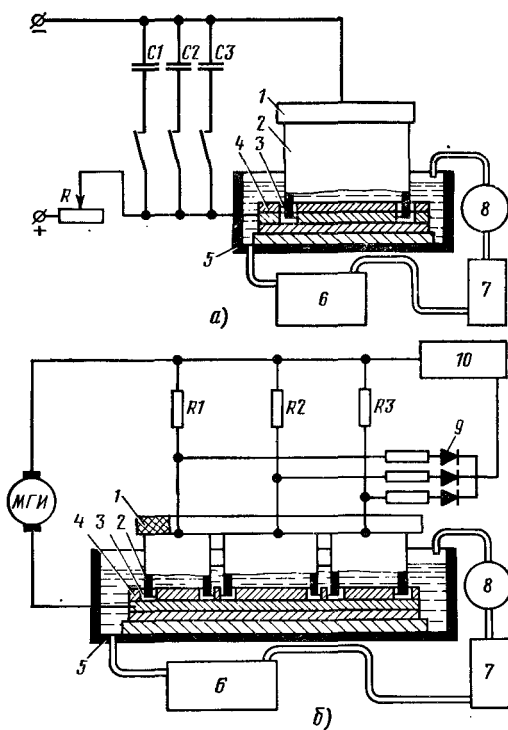


Рис. 6.25. Принципиальные схемы вырезки заготовок из пакета листов (карточек) электроэрозионным методом:

а — релаксационная (конденсаторная) схема электронской одноконтурной вырезки; б — схема электронимпульсной многоконтурной вырезки с питанием от низкочастотного (400 имп/с) машинного генератора униполярных импульсов типа МГИ-2М или МГИ-3М, С1, С2, С3 — секции конденсаторных батарей; R1, R2, R3 — токоограничивающие сопротивления; 1 — электродержатель; 2 — электрод-инструмент; 3 — боковой межэлектродный зазор; 4 — пакет листов (карточек); 5 — ванна с жидкостью; 6 — отстойник; 7 — фильтр; 8 — насос; 9 — твердый выпрямитель; 10 — регулятор подачи

Электроконтактную обработку применяют взамен обточки, фрезерования, шлифования, а также для упрочнения поверхностей и нанесения металлических покрытий наплавкой.

Электроэрозионная обработка заключается в последовательном разрушении металла на небольших участках находящегося в жидкой среде полуфабриката под действием импульсного электрического разряда. Форма и размеры разрушенного участка одного электрода воспроизводят форму и размеры другого, что и используется для направленной размерной обработки. Продукты разрушения ударной волной выбрасываются в межэлектродное пространство.

Электрический разряд состоит из неравновесной искровой и равновесной дуговой стадий. При импульсах малой длительности с преобладающей искровой стадией анод вследствие локального испарения (спокойного или взрывного) разрушается больше, чем катод. При длительных импульсах преобладает дуговая стадия и процесс эрозии катода (путем локального плавления) происходит более интенсивно, чем анода при искровой стадии разряда. В соответствии с этим электроэрозионную обработку можно разделить на две разновидности: электронскую и электронимпульсную или импульсно-дуговую (рис. 6.25).

Электроискровую обработку ведут в минеральном масле (индустриальном «12», трансформаторном и др.), или керосине при регламентированных диапазонах величин напряжения, силы тока и емкости; меньшие в диапазонах значения соответствуют мягким режимам, обеспечивающим в случае весьма малой длительности разряда ($10^{-7} \dots 10^{-6}$ с) получение поверхностей с шероховатостью 8... 10-го класса, а большие — жестким режимам с максимальной интенсивностью съема металла до $1000 \text{ мм}^3/\text{мин}$ и шероховатостью обрабатываемых поверхностей не выше 3-го класса.

Электроискровую обработку применяют для получения точных внешних и внутренних контуров, узких щелей и отверстий небольшого диаметра с прямой и криволинейной осью в деталях из высокопрочных любой твердости электропроводных материалов.

Особой областью электроискровой обработки является упрочнение поверхностей, где ее используют не для удаления металла заготовки, а для теплового воздействия на поверхность и перенесения на нее материала электрода. При этом жидкая среда отсутствует: анодом служит инструмент, материал которого выбирают исходя из наличия в нем элементов, необходимых для упрочнения поверхности.

Для предотвращения травматизма при работе на электроискровых установках запрещается проводить какие бы то ни было наладки станка под током. По окончании работы конденсаторы необходимо разрядить.

Электроимпульсная обработка более производительна (объем удаляемого металла до $5000 \dots 10\,000 \text{ мм}^3/\text{мин}$), но шероховатость получаемых поверхностей при этом не превышает 1... 3-го классов.

Применяют электроимпульсную обработку для получения фасонных полостей в крупных стальных заготовках, внутренних соединительных каналов в деталях гидроаппаратуры и т. п.

Пакеты листов из жаропрочных сплавов и нержавеющей сталей разделяют на заготовки и детали с большим периметром электроимпульсным способом по многоконтурной схеме, состоящей из нескольких контуров. Электрические режимы при одновременной работе всех контуров поддерживаются одной следящей системой. Толщина пакета ограничена. С увеличением толщины его затрудняется удаление продуктов эрозии из зоны обработки и уменьшается интенсивность съема металла. Для вырезных работ применяют инструмент из медной ленты определенных размеров. Электроимпульсную обработку можно использовать для вырезных работ по копиру тонким медным или вольфрамовым проволочным электродом, перематывающимся в процессе обработки с одной катушки на другую.

Точность электроэрозионной обработки заготовок зависит от точности установки электрода-инструмента и электрических режимов, которыми определяется межэлектродный зазор, образующийся в процессе обработки между инструментом и заготовкой.

Размеры инструмента выбирают с учетом бокового зазора между инструментом и обрабатываемой поверхностью, который в зависимости от режима обработки и жидкой среды составляет 0,008 ... 0,75 мм.

Характерный недостаток электроэрозионной обработки — неравномерный износ инструмента, особенно небольшой толщины. Поэтому точные поверхности обрабатывают в два прохода: первый на жестком режиме, а второй — на мягком, применяя или один комбинированный электрод, или два с разными размерами. Электроды соответствующего профиля изготавливают из меди, латуни, чугуна или меднографитовой массы. Электроды из меднографитовой массы имеют большую стойкость и в несколько раз меньшую трудоемкость в изготовлении по сравнению с электродами из других материалов.

§ 4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Из электрохимических процессов в самолетостроении находят применение анодно-механический и анодно-гидравлический.

Анодно-механическая обработка — метод направленного разрушения металла заключается в совместном электрохимическом и термическом действии тока напряжением 10 ... 30 В, протекающего между электродами 1 и 3 (рис. 6.26), которые находятся в среде 2 водного раствора жидкого стекла, в сочетании с механическим воздействием электрода-инструмента на обрабатываемую поверхность. При протекании тока через электролит на поверхности заготовки образуется окисная пленка, обладающая большим электрическим сопротивлением. Непрерывно перемещающийся инструмент (диск, бесконечная лента) разрушает и удаляет пленку с неровностей обрабатываемой поверхности. Процесс снятия пленки сочетается с непрерывным ее ростом. В местах, где пленка тоньше или совсем разрушена, под действием тока резко возрастает температура, металл расплавляется и выбрасывается быстро перемещающимся инструментом.

При удельном давлении 50 ... 100 кПа (0,5 ... 1,0 кгс/см²) инструмента на полуфабрикат и плотности тока 1 ... 6 А/см² (10 ... 60 кА/м²) металл снимается в основном путем механического удаления продуктов электрохимического окисления. В этом

случае интенсивность съема металла небольшая, но поверхность получается высокого (6 ... 8) класса шероховатости. С увеличением плотности тока и давления инструмента на заготовку растет производительность, но снижается класс шероховатости обрабатываемой по-

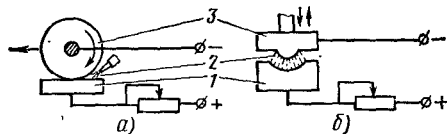


Рис. 6.26. Схемы анодно-механической обработки:

а — вращающимся инструментом; б — вибрирующим инструментом

верхности, так как металл в зоне обработки разрушается преимущественно вследствие расплавления.

Анодно-механическую обработку плоских поверхностей и поверхностей вращения выполняют вращающимся электродом-инструментом (рис. 6.26, а), часто помещая заготовку с инструментом в ванну с электролитом вместо подачи электролита через сопло. При обработке фасонных поверхностей инструменту сообщают вибрирующие движения в вертикальном направлении (см. рис. 6.26, б). Электролит подается через сопло или полый инструмент.

Анодно-механическую резку полуфабрикатов производят при следующих режимах: напряжение 20 ... 30 В, сила тока 20 ... 600 А, плотность тока 7 ... 500 А/см² (0,07 ... 5 мА/м²), скорость перемещения инструмента 10 ... 25 м/с при его удельном давлении на заготовку 50 ... 200 кПа (0,5 ... 2,0 кгс/см²). Интенсивность съема металла на указанных режимах 2 ... 10 см³/мин, а шероховатость поверхности 2 ... 4-го класса.

В качестве инструмента на отрезном станке 4820 применен диск из малоуглеродистой стали диаметром 280 ... 350 мм и толщиной 0,8 ... 2 мм, а на ленточных разрезных станках 4822 и 4823 — бесконечная стальная лента толщиной 0,8 ... 1,2 мм и шириной 30 ... 40 мм. Станки 4820, 4822 и 4823 позволяют резать на заготовки полуфабрикаты с наибольшими размерами сечения соответственно 75 × 75, 300 × 600 и 600 × 600 мм.

Анодно-механическую резку экономически целесообразно применять для высокопрочных токопроводящих материалов. Например, при анодно-механической резке жаропрочных и коррозионно-стойких сталей производительность в 2 ... 3 раза выше, чем при разделении их на заготовки резанием. Для материалов небольшой прочности она целесообразна, когда затруднительна обработка резанием: вырезка заготовок и деталей из тонкостенных полуфабрикатов, не допускающих приложения значительных усилий.

К недостаткам анодно-механической обработки следует отнести воздействие электролита на поверхности заготовок и деталей и вредность выделяемых испарений. Это вызывает необходимость последующей нейтрализации деталей в содовом растворе и снабжения анодно-механических станков индивидуальным отсосом.

Анодно-гидравлическая обработка — метод размерной обработки (рис. 6.27), основан на анодном растворении металлов в результате электролиза при малом напряжении (12 В) и большой силе тока. Продукты растворения удаляются из зоны обработки электролитом, который под давлением прокачивается через межэлектродный зазор. Электролитом также отводится тепло, выделя-

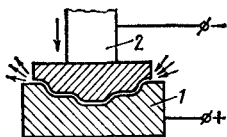


Рис. 6.27. Схема анодно-гидравлической обработки:

1 — обрабатываемая заготовка; 2 — инструмент

яющееся при электролизе. Межэлектродный зазор (0,1 ... 0,5 мм) в направлении перемещения инструмента в процессе обработки поддерживается постоянным с помощью следящей системы.

Анодно-гидравлический метод позволяет получать фасонные поверхности из высокопрочных металлов, обеспечивает высокое качество обрабатываемой поверхности и скорость удаления металла, являющуюся функцией плотности тока, до 0,5 мм/мин. Введение сжатого газа (например, углекислого) в электролит повышает класс шероховатости поверхности (до 7 ... 8-го класса), точность и стабильность обработки (предотвращает искрообразование).

В качестве электролита для обработки стали, никеля и жаропрочных сплавов на его основе используют 20 %-ный раствор NaCl.

Электрохимическое полирование состоит также в анодном растворении металла заготовки, помещенной в электролитную ванну. Образующаяся при этом на поверхности заготовки вязкая пленка солей защищает от действия тока микровадины, не препятствуя растворению гребешков, в результате чего поверхность сглаживается.

Шероховатость поверхности после электрохимического полирования зависит от шероховатости ее до полирования. Для получения шероховатости поверхности 7 ... 8-го классов необходимо, чтобы до полирования она имела шероховатость не ниже 4-го класса.

Электрохимическое полирование — высокопроизводительный и технологически простой процесс — заменяет трудоемкое и тяжелое ручное полирование, но недостаточно освоено. На протекание процесса и его результаты оказывают большое влияние химический состав сплава, его структура и другие факторы.

§ 5. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Размерное травление, применяемое для всех используемых в промышленности металлов и сплавов, заключается в удалении металла путем растворения его в травящих средах.

При сквозном травлении на поверхность листового полуфабриката, покрытого с двух сторон защитным слоем (химически стойкими лакокрасочными покрытиями), наносят по трафарету или шаблону контур заготовки (детали), прорезая защитный слой режущим инструментом. По прорезанным линиям в дальнейшем растворяется металл. После вытравливания металла по контуру раскроя детали не выпадают в ванну, а удерживаются слоем защитного покрытия, нанесенного с обратной стороны полуфабриката.

Глубина избирательного травления при использовании освоенных промышленностью защитных покрытий до 5 ... 6 мм для алюминиевых сплавов, малолегированных конструкционных углеродистых сталей (30ХГСА и др.), титановых сплавов, до

1,5 мм — для магниевых сплавов и до 0,7 мм — для коррозионностойких сталей типа Х18Н9Т.

Растворителем при размерном травлении алюминиевых сплавов Д16 и В95 является подогретый до 70 ... 90 °С водный раствор едкого натра (NaOH) 12 ... 17 %-ной концентрации, а для остальных металлов — водные растворы различных кислот или их смесей.

Замедленность протекания процессов размерного травления (0,3 ... 2,4 мм/ч) в некоторой степени компенсируется возможностью одновременного изготовления большой группы деталей без использования сложного оборудования и оснастки.

При общем травлении металл удаляется со всей поверхности заготовки, погруженной в раствор. Извлекая с определенной скоростью заготовку из ванны, получают детали переменного (клиновидного) или ступенчатого сечения.

При местном избирательном травлении поверхности, не подлежащие травлению, покрывают химически стойкими лакокрасочными покрытиями. Металл удаляется с незащищенных поверхностей заготовки. Глубину травления проверяют по образцам, загружаемым в ванну вместе с заготовкой, которые периодически извлекаются из ванны и измеряются.

Механические свойства металлов после размерного травления практически не изменяются, эквивалентность выдерживается до 0,01 мм, шероховатость поверхности снижается на I ... 2 класса. Риски и забоины травлением не устраняются, а лишь сглаживаются, получая форму углублений с плавными переходами.

Величина бокового подтравливания a (рис. 6.28) зависит от глубины травления h и адгезии защитного покрытия. При горизонтальном расположении заготовки в ванне и высокой адгезии защитного покрытия боковое подтравливание будет минимальным и равным глубине травления. При вертикальном расположении заготовки в ванне и низкой адгезии защитного покрытия боковое подтравливание достигает $6h$. Для размещения захватов или отверстий для подвески заготовок из листовых материалов на них предусматривают припуски $\geq 20h$, а на случай подтравливания заготовок с торцов $\geq 8h$.

Детали пространственной формы из листового материала подвергают травлению обычно после формообразования.

К преимуществам размерного травления по сравнению с механической обработкой относятся возможность обработки листовых заготовок одновременно с двух сторон, получения поверхностей сложной конфигурации из труднообрабатываемых материалов и одновременной обработки большого количества заготовок. При этом возможно применение простого и дешевого оборудования.

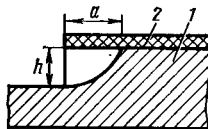


Рис. 6.28. Схема бокового подтравливания при размерном травлении: 1 — заготовка; 2 — пленка защитного покрытия

Недостатком размерного травления является: большая длительность процесса, невозможность устранения дефектов поверхности и ухудшение исходной шероховатости поверхности.

§ 6. АКУСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Ультразвуковой метод обработки применяется для изготовления деталей из любых твердых и хрупких материалов — бронестекла, керамики, твердых сплавов и др. Этот метод обработки (рис. 6.29) основан на выкрашивании твердых и хрупких материалов при импульсном вдавливании в них абразива. Абразивные частицы выдалбливают в материале углубление по форме сечения торца инструмента, колеблющегося с амплитудой 0,02 ... 0,06 мм и большим ускорением. Кроме колебательного движения инструмент получает поступательную подачу с небольшим нажимом — 0,2 ... 0,5 МПа (2 ... 5 кгс/см²) на обрабатываемый материал. Точность обработки 0,01 ... 0,02 мм, шероховатость поверхности — 9-й класс.

Вибратор акустической головки, выполненной из магнито-стрикционного материала (никель, кобальт, железо и др.), изменяя под действием переменного магнитного потока свои размеры, колеблется с ультразвуковой частотой 18 ... 25 кГц. Электрическая энергия высокочастотного генератора преобразуется в зоне обработки в акустическую. Обработка ведется в среде 30 ... 40 %-ной водной суспензии абразива (карбида бора, кремния или корунда). Бурная кавитация жидкости, вызываемая колебаниями вибратора, усиливает циркуляцию суспензии в зоне обработки.

Твердые и хрупкие материалы можно резать на универсальных станках для ультразвуковой обработки моделей 4770 и 4772 с выходной мощностью генераторов соответственно 0,25 и 1,5 кВт.

Наиболее широко ультразвуковую обработку используют для получения сквозных и глухих полостей различной формы в сечении и глубиной до 25 ... 40 мм (рис. 6.30, а), что объясняется предельно простой кинематикой. Однако ее применяют и для обработки длинных пазов, наружных цилиндрических и фасонных поверхностей, наружных и внутренних резьб с использованием более сложной

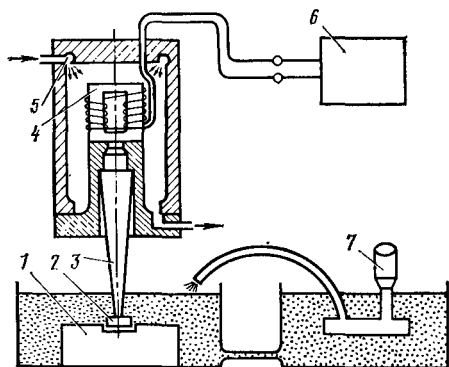


Рис. 6.29. Схема ультразвуковой обработки:

1 — заготовка; 2 — инструмент; 3 — концентратор; 4 — магнито-стрикционный пакет; 5 — кольцо для разбрызгивания воды; 6 — генератор ультразвуковых колебаний; 7 — центробежный насос

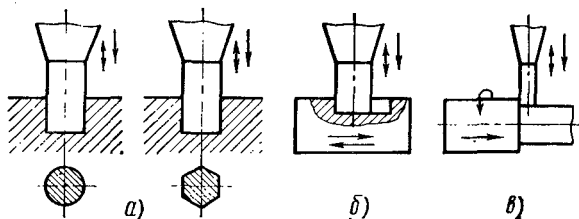


Рис. 6.30. Кинематические схемы ультразвуковой обработки:
а — при неподвижной заготовке; *б* — при продольном перемещении заготовки; *в* — при вращении и продольном перемещении заготовки

кинематики (рис. 6.30, *б*, *в*), а для электропроводных материалов — в комбинации с анодным растворением.

Кроме этого, ультразвуковая обработка играет большую роль как интенсификатор многих процессов: резания труднообрабатываемых материалов, сварки, пайки быстроокисляющихся металлов, очистки поверхностей от загрязнений и т. п.

§ 7. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Сущность тепловых процессов разделения полуфабриката или удаления излишнего материала состоит в нагревании металла заготовки, плавлении, превращении его в окислы или пары и удалении этих продуктов газовой струей или испарением. В самолетостроении находят применение газопламенная (кислородно-ацетиленовая) и плазменная обработки, а также начинает применяться лучевая обработка.

Газопламенная обработка (кислородно-ацетиленовая) применяется для вырезки фигурных заготовок из листов и плит малоуглеродистой и низколегированной стали толщиной от 5 до 100 мм.

Производительность резки весьма высокая. Например, малоуглеродистую сталь толщиной 5 ... 15 мм можно резать со скоростью 1,8 ... 1,2 м/мин. Стоимость вырезки фигурных заготовок из стали в 10 ... 20 раз ниже стоимости фрезерования.

Кислородно-ацетиленовую резку по шаблонам заготовок из стали толщиной от 5 до 100 мм производят на машинах шарнирного типа АСП-2. Наибольшие размеры вырезаемых заготовок 750—1500 мм. Чистота реза приближается к чистоте механической обработки. Погрешность копирования не превышает 0,3 ... 0,5 мм.

Кислородно-флюсовую обработку применяют для вырезки заготовок из хромистых и хромоникелевых жаропрочных и коррозионно-стойких сталей, цветных металлов и сплавов. Флюсом служит железный порошок с частицами 0,13 ... 0,2 мм, который непрерывно подается в струю режущего кислорода. При сгорании флюса выделяется дополнительное количество тепла, повышающее температуру в месте реза, благодаря чему образующиеся окислы не

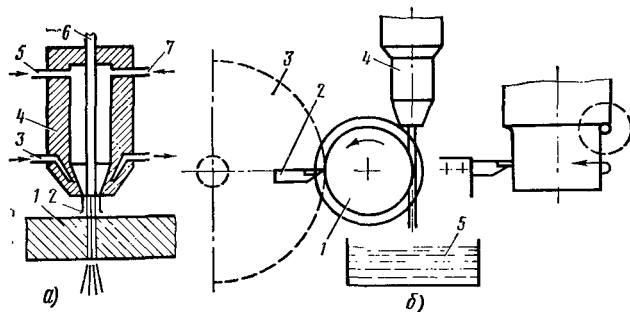


Рис. 6.31. Схема плазменной обработки:

а — разделение полуфабриката; 1 — полуфабрикат; 2 — сжатая дуга; 3 — подача воды для охлаждения кончика горелки; 4 — корпус горелки; 5 — подача аргона; 6 — вольфрамовый электрод; 7 — подача водорода; *б* — удаление материала с поверхности вращающейся заготовки с последующим обтачиванием или шлифованием; 1 — заготовка; 2 — резец; 3 — абразивный круг; 4 — плазменная горелка; 5 — ванна с водой

затвердевают. Продукты сгорания флюса переходят в шлак, понижая температуру его плавления.

Пакеты листов из титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей разрезаются с верхним накладным листом из малоуглеродистой стали толщиной 1,5 ... 3,0 мм, предохраняющим кромки верхних листов от оплавления и чрезмерного нагревания. Пакетная резка листов должна производиться в специальном зажимном приспособлении, когда листы плотно прилегают друг к другу, и устраняется возможность свободной деформации заготовки и ее провисания. Заготовки после вырезки правятся для устранения коробления. Под механическую обработку следует предусматривать припуск 3 ... 5 мм.

При кислородно-флюсовой резке коррозионно-стойкой стали Х18Н9Т ширина реза 8 ... 10 мм, а скорость резки пакета толщиной 12 ... 50 мм соответственно 260 ... 90 мм/мин.

Плазменная обработка. Если электрическую дугу теми или иными способами суживать, то можно получить поток так называемой «плазмы» с температурой более 15 000 °С. Поток плазмы можно резать различные металлы, сплавы, сваривать тугоплавкие металлы и наплавлять на изделие покрытия.

На рис. 6.31, *а* показана схема плазменной горелки. Между вольфрамовым электродом и обрабатываемым полуфабрикатом возбуждается сжатая дуга, сосредотачиваемая на небольшом участке полуфабриката. Теплом дуги и газов, выходящих через суженное сопло и нагреваемых той же дугой, плавится металл. Расплавленный металл удаляется факелом пламени и струей газов.

На установках для плазменной обработки УДР-58 можно производить как ручную, так и механизированную резку цветных металлов и коррозионно-стойких сталей толщиной до 40 мм.

Замена газовой резки сталей и алюминиевых сплавов (АМц, АМг-6, АД1) плазменно-дуговой с использованием в качестве плазмообразующих газов аргоно-аммиачной смеси или воздуха и водяных паров снижает глубину расплавленной зоны кромок, тепловые деформации (в 2 ... 4 раза), значительно улучшает качество поверхности реза и увеличивает скорость резки.

При оснащении газорезущих машин и установок для плазменной резки фотоэлектронной системой управления при скорости резки до 2600 мм/мин достигается точность копирования чертежа ± 1 мм. Хорошие результаты получаются также на газорезущих машинах с числовым программным управлением.

Высокая температура струи плазмы и способность резать цветные металлы и коррозионно-стойкие стали без применения флюсов дает этому процессу очевидное преимущество перед газопламенной обработкой.

В настоящее время для плазменной обработки применяют два типа горелок с зависимой (переносной) и с независимой (непереносной) дугой. При использовании горелки с зависимой дугой обрабатываемая заготовка служит анодом. Горелки с независимой дугой (дуга возникает внутри сопла) более удобны для металло-резущих станков, однако эффективность их меньше.

Использование струи плазмы сильно ускоряет процесс удаления излишнего материала, позволяет снимать большой слой самого твердого металла за один проход на станках обычной жесткости. Например, при глубине резания 9,5 мм и скорости перемещения 254 мм/мин плазменной струей можно удалить 65,5 см³ стали в минуту. Этого нельзя достигнуть резанием на обычных (легких) станках.

Плазменную обработку тел вращения часто применяют с одновременной обработкой поверхности резцом с очень узкой режущей кромкой или шлифовальным кругом (рис. 6.31, б). Это позволяет выполнять одновременно и черновую и чистовую обработку крупногабаритных заготовок из металлов, трудно поддающихся резанию.

Лучевая обработка. При лучевых методах обработки возможна концентрация светового, электронного или ионного луча с высокой плотностью энергии на очень малой площади. Это открывает широкие перспективы в применении лучевых методов для обработки самых тугоплавких материалов. Материал из зоны обработки удаляется испарением его в результате преобразования лучевой энергии в тепло непосредственно в зоне обработки.

Таким образом, механические процессы, которые по-прежнему остаются основными при обработке обычных конструкционных материалов, удачно дополняются электрическими, электрохимическими, химическими, акустическими и тепловыми процессами, наиболее эффективными при обработке материалов, трудно поддающихся резанию и при изготовлении деталей сложной формы.

ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ХОЛОДНЫМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Холодное деформирование является одним из наиболее прогрессивных методов изготовления деталей. Высокая производительность труда, низкая себестоимость изделия и высокий коэффициент использования металла способствуют широкому применению процессов холодного деформирования в различных отраслях промышленности.

Для характеристики и оценки технологических возможностей различных процессов холодного деформирования предложен критерий «жесткости» [43]

$$\lambda = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}} = \frac{3}{\sigma_i} \sigma_{\text{ср}} = -\frac{3}{\sigma_i} p,$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные нормальные напряжения соответственно наибольшее, среднее и алгебраическое наименьшее; $p = -\sigma_{\text{ср}} = -\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ — гидростатическое давление.

Растягивающие напряжения берутся со знаком плюс, сжимающие — со знаком минус. Следовательно, положительное гидростатическое давление будет вызывать уменьшение объема тела, а отрицательное — будет вызывать его всестороннее растяжение.

Интенсивность напряжений σ_i и среднее напряжение $\sigma_{\text{ср}}$ количественно не зависят от выбора координатных осей, т. е. являются инвариантами.

В соответствии с критерием «жесткости» λ схему напряженного состояния следует считать «жесткой» при положительных значениях суммы трех главных напряжений и «мягкой» в случае отрицательных значений (т. е. при положительном гидростатическом давлении). Чем «жестче» схема напряженного состояния, тем при меньшей степени деформации могут возникнуть явления разрушения. При достаточно «мягких» схемах напряженного состояния пластически деформируемые тела могут претерпевать значительные изменения формы без признаков разрушения. Ограничением степени деформации при формообразовании заготовки за одну операцию в этом случае большей частью является прочность инструмента или деталей пресса.

Таким образом, мягкость или жесткость схемы напряженного состояния заготовки, связанная с наличием положительного или отрицательного гидростатического давления, предопределяет эффективность процесса пластического деформирования в целом как в отношении достижимой степени деформации за одну операцию, так и потребных технологических усилий. Поэтому при классификации наиболее распространенных процессов формообразования деталей холодным деформированием целесообразно руководствоваться критерием жесткости схем напряженного состояния, возникающего при данном пластическом формоизменении, как одним из наиболее характерных показателей технологического процесса.

Применяемые для формообразования деталей холодным деформированием процессы можно укрупненно разбить на листовую штамповку и объемную штамповку.

Листовая штамповка включает жесткосхемные процессы, основанные главным образом на изменении формы поверхности заготовки без существенного перераспределения объема металла.

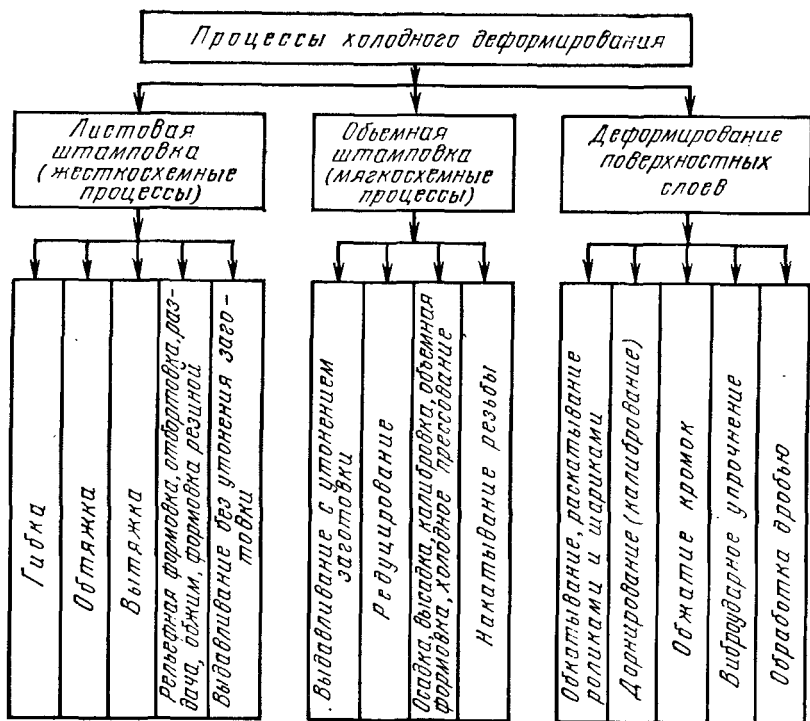


Рис. 7.1. Классификация основных процессов формообразования деталей холодным деформированием

К объемной штамповке относятся мягкосхемные процессы, с помощью которых формообразование детали осуществляется посредством перераспределения и заданного перемещения объема металла.

В особую подгруппу следует выделить отделочные и упрочняющие процессы, связанные с деформированием поверхностных слоев без существенного изменения формы и размеров заготовки, полученной в предыдущих операциях технологического процесса.

Каждая из подгрупп процессов формообразования деталей холодным деформированием включает значительное количество частных процессов целевого назначения (рис. 7.1), отличающихся по своим специфическим особенностям, средствам для их осуществления и ряду других признаков.

В самолетостроении около 80 % деталей планера изготовляют методом холодного деформирования. Трудоемкость их изготовления можно значительно уменьшить, сокращая объем доводочных работ, характерных для заготовительно-штамповочных цехов. С этой точки зрения отдельные конструктивные элементы и детали

самолетов и вертолетов должны проектироваться с учетом технологических возможностей процессов холодного деформирования, специфические особенности которых рассмотрены далее.

§ 1. ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

Процессы листовой штамповки (гибка, обтяжка и др.) наиболее широко применяются для изготовления деталей планера из листов, профилированных плит, профилей и тонкостенных труб.

Гибка

К гибке относят все процессы формообразования деталей одинарной кривизны, основанные на упругопластическом изгибе внешними нагрузками листовой, профильной или трубчатой заготовок. Как известно, форма и размеры поперечного сечения заготовки в процессе изгиба изменяются. Если заготовка узкая, т. е. ее ширина b соизмерима с высотой δ (рис. 7.2, а), деформированию материала в аксиальном направлении (в направлении оси z) почти нет препятствий. Поперечное сечение заготовки в результате деформирования приобретает форму, схематически изображенную на рис. 7.2, б; нормальные напряжения в аксиальном направлении при этом практически отсутствуют. При изгибе широкой заготовки (пластины или листа) деформации на всей ширине, за исключением участков, непосредственно прилегающих к концам, стеснены. Вследствие этого в аксиальном направлении возникают нормальные напряжения, которые вызывают искривление сечения детали в плоскости yz и приводят к образованию «седловины» (рис. 7.2, в).

Исследуя процесс гибки, принимают, что главные оси напряжений и деформаций совпадают соответственно с радиальным (по радиусу кривизны), тангенциальным (касательным к кривой) и аксиальным направлениями (рис. 7.2, а). Отсюда следует, что касательные напряжения на площадках, нормальных к этим направлениям, отсутствуют. Теоретический анализ в этом случае значительно упрощается. Весьма часто пренебрегают также напряжениями σ_y , вызываемыми надавливанием волокон друг на друга, и напряженно-деформированное состояние в случае $\rho/\delta > 3 \dots 5$ условно считают линейным, т. е. при анализе изгиба учитывают только тангенциальные напряжения и деформации.

При больших пластических деформациях, как и при малых, остается справедливой гипотеза плоских сечений, согласно которой сечение, плоское до деформации, остается таковым в течение всего изгиба. Это дает возможность легко выразить тангенциальную деформацию растяжения (сжатия) e_x в любой точке (рис. 7.2, а) через радиус кривизны изгибаемого элемента и расстояние рассматриваемой точки до нейтрального слоя, представляющего собой совокупность материальных точек, в которых деформации в тангенциальном направлении отсутствуют:

$$e_x = \ln \frac{(\rho + y) d\varphi}{\rho d\varphi} = \ln \left(1 + \frac{y}{\rho} \right). \quad (7.1)$$

Приняв приближенно, что нейтральный слой расположен посредине толщины заготовки, получим (без существенной погрешности в определении деформации при $\rho/\delta > 3 \dots 5$)

$$e_{xв} = -e_{xв} = \ln \left(1 + \frac{1}{2\bar{\rho}} \right), \quad (7.2)$$

где e_{xH} , $e_{xВ}$ — истинные деформации наружной и внутренней поверхности заготовки; $\bar{\rho} = \rho/\delta$ — относительный радиус изгиба; ρ — радиус кривизны срединной поверхности до снятия внешней нагрузки; δ — толщина заготовки.

Из выражения (7.2) следует, что величина деформации периферийных поверхностей детали определяется относительным радиусом изгиба $\bar{\rho}$. Для деформируемых материалов (алюминиевых сплавов и сталей) $\bar{\rho}_{\min} = 2 \dots 7$. При несоблюдении этого условия наружная поверхность заготовки в процессе изгиба разрушается.

После снятия внешней нагрузки форма пластически изогнутого элемента вследствие упругого восстановления металла изменяется. Волокна растянутой зоны сокращаются, а сжатой — удлиняются в соответствии с величиной упругих деформаций $e_{упр}$ (рис. 7.2, в). В результате каждое сечение изогнутой заготовки повернется на соответствующий угол. Такое явление называется пружинением.

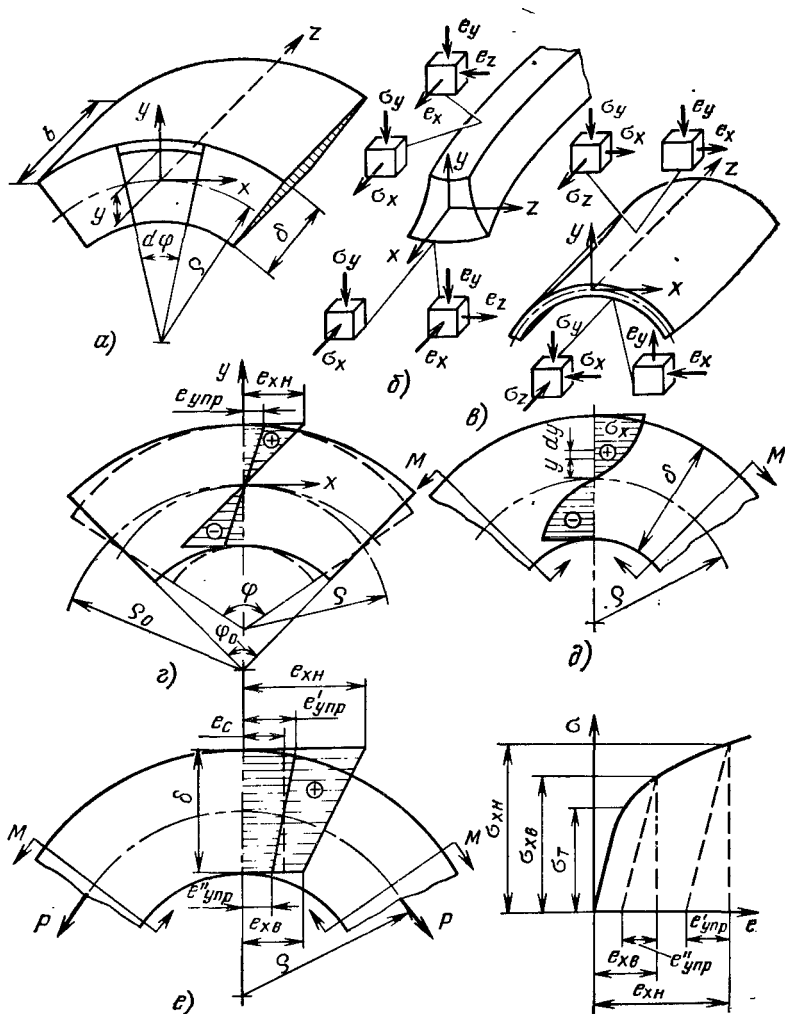


Рис. 7.2. Деформации и напряжения при гибке

Остаточный радиус ρ_0 всегда будет больше радиуса кривизны ρ_0 под нагрузкой (рис. 7.2, з), причем между ними существует зависимость

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho} - \frac{M}{EI}, \quad (7.3)$$

где M — изгибающий момент; I — момент инерции поперечного сечения; E — модуль упругости.

Из условия равновесия между внешними и внутренними силами изгибающий момент M равен моменту внутренних напряжений, действующих в сечении (рис. 7.2, д).

Определив изгибающий момент, можно найти усилие для изгиба заготовки, а также остаточные радиус кривизны ρ_0 и угол φ_0 (рис. 7.2, з) [43]:

$$\rho_0 = \frac{\rho}{1 - \frac{3A}{(2+m)E} (2\bar{\rho})^{1-m}};$$

$$\Delta\rho = \rho_0 - \rho = \rho \left[\frac{1}{1 - \frac{3A}{(2+m)E} (2\bar{\rho})^{1-m}} - 1 \right];$$

$$\varphi_0 = \varphi \left[1 - \frac{3A}{(2+m)E} (2\bar{\rho})^{1-m} \right]; \quad \Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi = -\frac{\varphi}{E} \frac{3A}{2+m} (2\bar{\rho})^{1-m}, \quad (7.4)$$

где $\Delta\rho$, $\Delta\varphi$ — изменения радиуса кривизны и угла изгиба вследствие пружинения после снятия внешней нагрузки; A и m — константы деформируемого материала (при аппроксимации зависимости между интенсивностью напряжений σ_i и

интенсивностью истинных деформаций $e_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(e_1 - e_2)^2 + (e_2 - e_3)^2 + (e_3 - e_1)^2}$ — главной деформации).

Из этих выражений следует, что с увеличением относительного радиуса изгиба $\bar{\rho}$ и повышением склонности материала заготовки к упрочнению при деформации, вызываемые пружинением погрешности возрастают. Например, среднее значение угла пружинения $\Delta\varphi$ при гибке деталей из алюминиевых сплавов в отожженном состоянии составляют 2 ... 6°, а из высокопрочных материалов — 15 ... 18°.

Погрешности $\Delta\rho$ и $\Delta\varphi$ необходимо учитывать при изготовлении гибочной оснастки и настройке оборудования, используемого для гибки. Однако этого недостаточно при изготовлении деталей, к точности которых предъявляются повышенные требования, так как вследствие колебаний механических свойств материала и размеров сечения заготовки параметры пружинения $\Delta\rho$ и $\Delta\varphi$ являются переменными величинами. Лишь на станках с автоматическими корректирующими устройствами можно получать детали со стабильной точностью по выполняемым на гибочной операции размерам.

Пружинение заготовки уменьшается, если в процессе изгиба к ней прикладывается тангенциальное растягивающее усилие P (рис. 7.2, е). В этом случае угол поворота сечений и изменение радиуса кривизны заготовки после снятия деформирующей нагрузки будут пропорциональны разности $\Delta e = e'_{\text{упр}} - e''_{\text{упр}}$ упругих составляющих деформаций наружного и внутреннего волокон (следовательно, и разности напряжений $\Delta\sigma = \sigma_{\text{нп}} - \sigma_{\text{хв}}$), а не их абсолютной величине $e'_{\text{упр}}$ и $e''_{\text{упр}}$ (или $\sigma_{\text{нп}}$ и $\sigma_{\text{хв}}$), как при изгибе без дополнительного растяжения (рис. 7.2, з, д). В отличие от обычного изгиба при разгрузке в соответствии с $e_c = \frac{1}{2}(e'_{\text{упр}} + e''_{\text{упр}})$ изменяется также и длина срединной поверхности заготовки (рис. 7.2, е).

Значительный эффект от дополнительного растяжения получается лишь тогда, когда возникающие при изгибе заготовки напряжения по всему сечению

положительны и по величине не менее предела текучести σ_T . При этом увеличение дополнительного растяжения более 3 ... 5 % от исходной длины заготовки на уменьшении параметров пружинения сказывается незначительно и не имеет практического значения.

Очевидно, что разность напряжений, действующих в наружных и внутренних волокнах заготовки, будет уменьшаться с увеличением относительного радиуса изгиба. Поэтому процесс изгиба с растяжением наиболее целесообразно использовать для изготовления деталей с большими относительными радиусами \bar{r} .

Поскольку все металлы в холодном состоянии обладают упрочнением, то при любом дополнительном растяжении нельзя добиться того, чтобы величина $\Delta\sigma$ равнялась нулю; следовательно, пружинение всегда будет существовать. Однако можно спроектировать технологический процесс так, что погрешность, вызываемая пружинением, будет находиться в пределах допуска на изготовленные детали. Например, при изготовлении особо точных деталей гибку выполняют следующими двумя способами.

1. Изгиб в две операции по схеме: предварительный изгиб без растяжения, термообработка (отжиг, закалка) для разупрочнения материала и снятия остаточных напряжений; изгиб с растяжением (калибровка). При выполнении последней операции заготовка изгибается весьма мало, в основном она растягивается, что значительно уменьшает $\Delta\sigma$, а следовательно, и пружинение.

2. Изгиб с растяжением и одновременным кратковременным нагревом заготовки радиационным способом, методом электросопротивления или от формообразующей оправки, или комбинированным способом.

Изменение кривизны детали после снятия внешней нагрузки существенно уменьшается с введением нагрева (вследствие понижения склонности материала заготовки к упрочнению), что приводит к повышению точности, и тем больше, чем выше температура нагрева. Температура нагрева зависит от марки материала и может колебаться в широких пределах.

Гибка с растяжением и одновременным кратковременным нагревом заготовки особенно эффективна для формообразования профильных деталей из труднодеформируемых в холодном состоянии высокопрочных материалов.

Способы гибки и применяемое оборудование

В самолетостроении для изготовления деталей одинарной кривизны (стрингеры, обшивки, обечайки, панели гофрированные, трубопроводы и др.) из листов, профилированных плит, профилей и тонкостенных труб наиболее широко применяют методы свободной гибки и гибки профилированным инструментом. При свободной гибке формообразование детали осуществляется путем пластической деформации заготовки системой сил, и создаваемая форма не зависит от инструмента.

Свободная гибка осуществляется в двух вариантах: гибка универсально-гибочным штампом (рис. 7.3, а ... г) и гибка прокаткой на валковых или роликовых станках (рис. 7.3, д ... ж).

Гибка универсально-гибочным штампом преимущественно применяется для изготовления деталей с малым относительным радиусом изгиба (обычно $\bar{r} \leq 8 \dots 10$). Форму таких деталей в основном характеризует угол изгиба φ_0 , являющийся сопрягаемым параметром при установке деталей в узлах и агрегатах. Радиус кривизны при вершине угла в большинстве случаев не является сопрягаемым параметром; его величина назначается из условий необходимой жесткости деталей и возможности формообразования при данных пластических свойствах деформируемого металла.

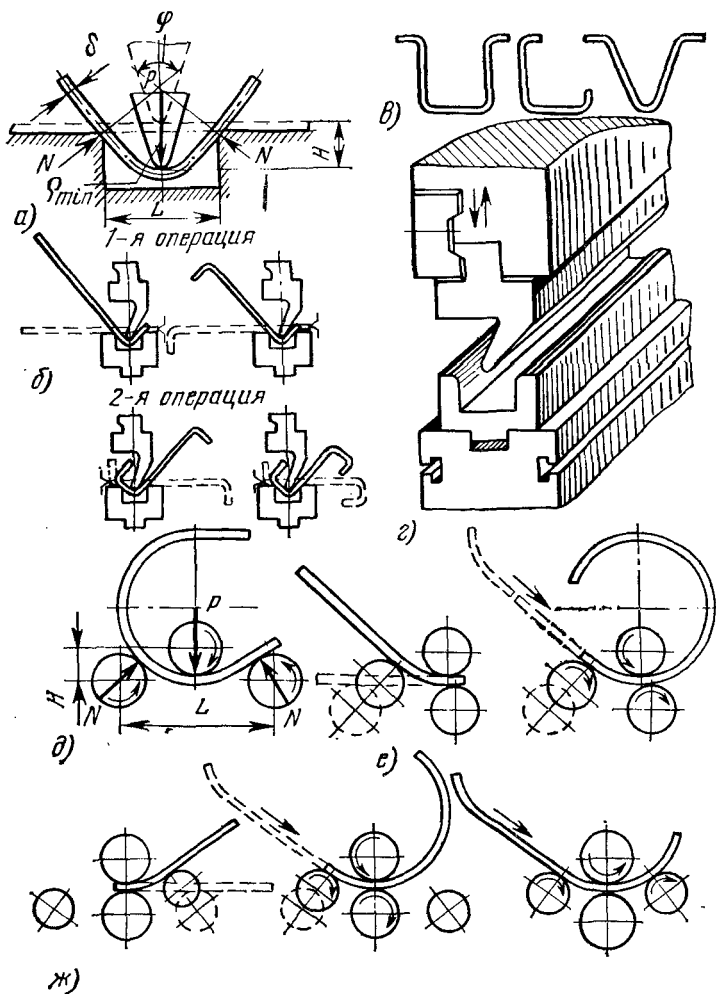


Рис. 7.3. Схемы процессов свободной гибки

Угол φ (рис. 7.3, а), на который необходимо изогнуть заготовку, чтобы с учетом его последующего изменения вследствие пружинения получить заданный угол детали φ_0 , а также потребное для гибки усилие P со стороны пуансона, можно определить по формулам [43]

$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} \frac{\sin \frac{\varphi_0}{2}}{\sin \frac{\varphi_0}{2} - C_{\varphi} (\bar{\rho}_{\min})^{1-m}} ;$$

$$P = C_p \frac{b\delta}{(\bar{\rho}_{\min})^{1+m}} \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + f \right),$$

(7.5)

где \bar{r}_{\min} — минимальный относительный радиус кривизны (при вершине угла); f — коэффициент трения заготовки о матрицу; C_{ϕ} , C_r — коэффициенты, зависящие от механических свойств металла. Например, для Д16АМ $m = 0,265$; $A = 490 \text{ МПа}$ (50 кгс/мм^2), $C_{\phi} = 0,036$; коэффициент C_r при изгибе широких заготовок равен $46,8 \text{ МПа}$ ($4,77 \text{ кгс/мм}^2$), а при изгибе узких заготовок (полосок) — $37,7 \text{ МПа}$ ($3,84 \text{ кгс/мм}^2$).

По известным значениям \bar{r}_{\min} и ϕ определяют ширину L ручья матрицы и ход H пуансона (рис. 7.3, а).

Универсально-гибочные штампы используют в единичном и серийном производстве для изготовления из листового материала за несколько переходов или операций профилей различного сечения (рис. 7.3, б, в). Штмп устанавливают на специальный гибочный пресс (рис. 7.3, г) с узкой и длинной станиной.

Гибка прокаткой на валковых и роликовых станках по силовому воздействию на заготовку (рис. 7.3, д) не отличается от гибки универсально-гибочным штампом. Процесс гибки прокаткой заключается в непрерывном изменении формы заготовки путем приложения к ней через вращающиеся валки (или ролики) изгибающего усилия, обеспечивающего требуемую пластическую деформацию.

Гибка прокаткой может быть осуществлена на станках, выполненных по трех- или четырехвалковой схеме. В процессе гибки прокаткой тремя симметрично расположенными валками на входной и выходной зонах заготовки остаются прямолинейные концы (см. рис. 7.3, д), длина которых равна расстоянию между точками касания заготовки со средним и крайними валками. Для уменьшения длины прямолинейных участков следует применять асимметричную схему расположения валков (рис. 7.3, е). В этом случае можно почти полностью изогнуть заготовку от кромки до кромки. Для подгибки кромок заготовку вставляют между валками так, чтобы край ее перекрывал задний нижний валок, и подъемом переднего нижнего валка подгибают первую кромку (см. рис. 7.3, е). Затем заготовку кантуют, вставляют между валками второй кромкой и подгибают ее. Обычно заготовки всей партии предварительно проходят операцию подгибки кромок, а затем подвергаются гибке по заданному радиусу.

Станки, изготовленные по асимметричной схеме, должны обладать повышенной жесткостью, так как в процессе гибки на валках возникают усилия значительно большие, чем на станках, выполненных по симметричной схеме. Поэтому гибку листов большой толщины производят на станках с симметричным расположением валков.

Четырехвалковые машины сочетают в себе преимущества трехвалковых машин, выполненных по симметричной и асимметричной схемам. В каждом конкретном случае работают лишь три валка из четырех (рис. 7.3, ж). При подгибке заготовку входной кромкой подают справа (по схеме) на валки так, чтобы она перекрыла второй валок; затем, поднимая правый гибочный валок, полностью изгибают кромку. После этого гибочный правый валок

опускают в исходное положение и заготовку пропускают через валки влево. Затем так же подгибают выходную кромку левым гибочным валком и последующей прокаткой полностью изгибают заготовку (рис. 7.3, ж).

Четырехвалковые машины особенно целесообразны для формообразования крупногабаритных тяжелых деталей, так как во время подгибки кромок отпадает необходимость кантовать заготовку.

Заготовка при вращении валков перемещается под действием сил трения, возникающих на поверхностях контакта и являющихся в трехвалковых симметричных схемах функций усилия гибки P . С увеличением кривизны сопротивление заготовки перемещению возрастает. При определенной для данных условий стреле прогиба сила трения может оказаться недостаточной для перемещения заготовки. Это накладывает существенные ограничения на процесс изгиба заготовки тремя симметрично расположенными валками, что вынуждает либо осуществлять изгиб в несколько переходов с постепенным увеличением стрелы прогиба, либо предусматривать в конструкции станка толкающее устройство. Например, профиль высотой h за один переход можно изогнуть на радиус не менее чем $30h$. При $\bar{\rho} = \rho/h < 30$ ролики относительно профиля будут проскальзывать.

Усилие подачи P_x , потребное для гибки прокаткой листовой заготовки толщиной δ и шириной b без проскальзывания, может быть определено по формуле [43]

$$P_x = \frac{Ab\delta}{3^{\frac{1+m}{2}} (1+m)(2+m)\bar{\rho}^{1+m}} = C_x \frac{b\delta}{\bar{\rho}^{1+m}}. \quad (7.6)$$

При четырехвалковой схеме (рис. 7.3, ж) за один переход можно получить большую кривизну, создав дополнительное давление на заготовку, зажатую между верхним и нижним центральным валками.

Оснастка, используемая при свободной гибке, является универсальной и позволяет путем подбора параметров настройки L и H (рис. 7.3, а, д) получать детали необходимой формы. Благодаря этому свободная гибка экономически наиболее целесообразна для деталей больших габаритных размеров (например обшивок крыла, оперения, различных профилей из листового материала).

Наиболее распространенный вид оборудования для гибки прокаткой — трехвалковые станки («трехвалки») с ручным и механизованным приводом, у которых положение гибочного вала в процессе гибки не изменяется. Основным типом трехвалковых станков является станок ЦБКМ, позволяющий изгибать листы толщиной до 10 мм и длиной 6200 мм. Верхний валок регулируется по высоте и может быть установлен в наклонное положение по отношению к нижним.

В авиационной промышленности для получения деталей цилиндрической и конической формы (длиной до 7 м) из листов (толщиной до 12 мм) и профилированных плит широко применяют станки типа КГЛ с тремя симметрично расположенными валками и верхней траверсой (рис. 7.4, а, б) и гибочно-листовые станки типа ГЛС.

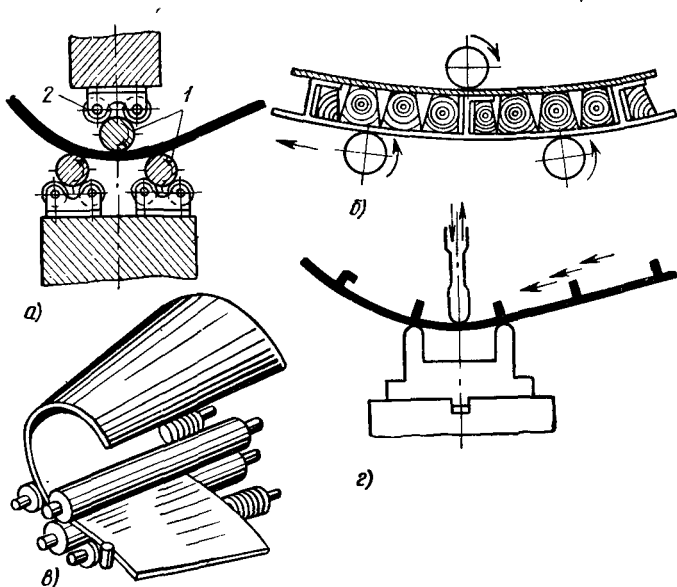


Рис. 7.4. Схемы гибки на гибочно-листовых станках:

a — гибка листовой заготовки на КГЛ; 1 — верхний и нижний валки; 2 — опорные ролик; *b* — гибка профилированной плиты на КГЛ-3; *в* — гибка конической обечайки на ГЛС-2К; *г* — гибка профилированной плиты вперёдвижку

Гибочно-листовые станки ГЛС-0,5К и ГЛС-2,5, выполненные по асимметричной трехвалковой, а ГЛС-2К и ГЛС-4 — по четырехвалковой схеме, позволяют изготавливать замкнутые обечайки с подгибкой входной и выходной кромок.

Три валка станка ГЛС-0,5К — конические. Одним комплектом валков можно изготавливать обечайки различной конусности с наименьшим диаметром 80 мм и длиной образующей до 500 мм.

Станок ГЛС-2К в основном предназначен для изготовления конических обечаек с наименьшим диаметром 500 мм при длине образующей до 2000 мм. Два его средних приводных валка цилиндрические, целиковые, а два боковых, которые можно устанавливать под заданным углом к средним валкам, выполнены из набора шарикоподшипников (рис. 7.4, в).

Формообразование из цветных сплавов крупногабаритных листовых обшивок и монолитных панелей толщиной до 12 мм выполняют двумя методами: гибкой универсально-гибочным штампом вперёдвижку (рис. 7.4, г) и прокаткой симметрично расположенными валками.

Детали из прессованных и катаных профилей с постоянной кривизной изготавливают прокаткой на профилегибочных четырехроликовых станках.

На станках, выполненных по двухроликовой схеме, радиус гибки зависит от глубины внедрения заготовки жестким роликом в упругое покрытие (полиуретан марки СКУ-7Л или более твердый — СКУ-ПФЛ) другого. Изменяя по программе глубину внедрения заготовки в упругое покрытие в процессе гибки, можно из профилей симметричного поперечного сечения изготовить детали с переменной кривизной по открытому или замкнутому контуру, включая подгибку концов, за один пропуск заготовки между роликами. Наименьшее усилие сжатия роликов для получения заданного радиуса кривизны требуется при отношении диаметра упругого ролика к диаметру жесткого, равном 2,5.

Для профилей сложных сечений применяют профилегибочный станок ПГ-5А с тремя роликами, обеспечивающими возможность гибки прокаткой по симметричной и асимметричной схемам. Станок снабжен дополнительной роликовой головкой, полностью охватывающей многополочное сечение профиля при его изгибе и предотвращающей потерю устойчивости полок. Однако несимметричность сечения профиля и несовпадение главных осей моментов инерции сечения с плоскостью изгиба все же вызывают деформацию закрутки, которая приводит к необходимости выполнять трудоемкие ручные доводочные работы, особенно при изготовлении деталей из стальных или титановых профилей.

Гибка профилированным инструментом

В качестве такого инструмента применяют штампы и специальные оправки.

Гибка специальными гибочными штампами может осуществляться без прижима (рис. 7.5, а) и с прижимом (рис. 7.5, б) заготовки. В штампах с прижимом заготовки обеспечивается более точное взаимное положение элементов детали относительно друг друга, чем без прижима. Поэтому для точных работ применяют штампы с прижимом. При этом штамп должен быть изготовлен с учетом погрешностей, вызываемых пружинением. Например, при гибке П-образных деталей из упругих материалов предусматривают обратный выгиб дна (рис. 7.5, в). После раскрытия штампа дно расширяется и компенсирует распушинивание в углах.

Детали сложной формы (замкнутые типа обойм и петель, коробчатые и др.) обычно получают последовательной гибкой несколькими простыми по конструкции штампами или одним штампом, состоящим из нескольких секций, в каждой из которых выполняется отдельный переход.

При гибке с подчеканкой, т. е. с местным перераспределением части металла заготовки (рис. 7.5, г), получается форма детали, точно соответствующая форме инструмента, но требуется приложение к заготовке усилий, значительно больших, чем при обычной гибке.

На рис. 7.5, д показан гибочный штамп, в котором роль матрицы выполняет пластическая масса (полиуретан), находящаяся

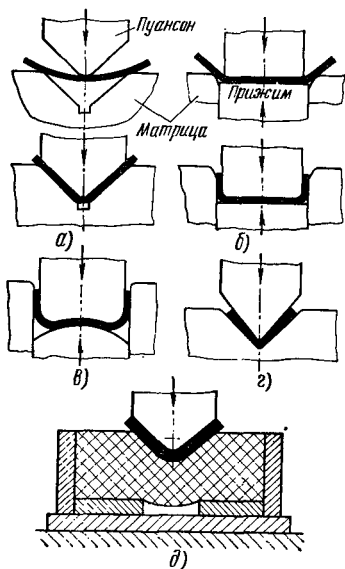


Рис. 7.5. Схемы гибки специальными гибочными штампами

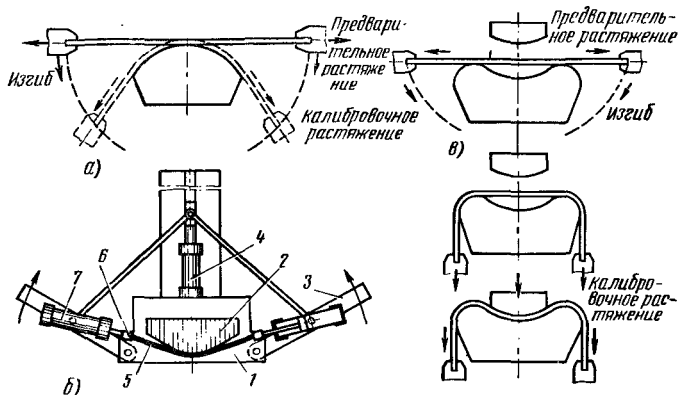


Рис. 7.6. Схемы гибки профилей обтягиванием по оправке:

1 — стол; 2 — сменная оправка; 3 — поворотная платформа; 4 — цилиндр поворота платформы; 5 — заготовка; 6 — цанговый зажим; 7 — цилиндр растяжения заготовки

в металлическом контейнере. В исходном положении плоскую заготовку укладывают сверху на поверхность полиуретановой подушки. При ходе ползуна пресса вниз заготовка вдавливается в упругую среду и принимает форму пуансона. В начале гибки заготовка испытывает небольшое давление. Затем полиуретан заполняет пространство между ограничительными пластинами, установленными на дне контейнера, и его сопротивление деформированию резко возрастает, что обеспечивает калибровку детали по пуансону. С уменьшением площади свободной поверхности полиуретановой подушки давление на заготовку при гибке увеличивается.

С помощью специальных гибочных штампов, устанавливаемых на прессах, из листовых и профильных заготовок обычно изготавливают детали относительно небольших габаритных размеров.

Гибка обтягиванием по оправке (гибка с растяжением) применяется для изготовления деталей переменной кривизны из гнутых и пресованных профилей симметричного и несимметричного сечения обычно на профилегибочных растяжных станках ПГР-6, ПГР-7 и ПГР-8. Станки ПГР-6 и ПГР-8 предназначены для получения деталей однозначной кривизны с углом изгиба до 180° – 220° из заготовок длиной 1000 ... 9000 мм. Схемы процесса гибки с растяжением деталей однозначной кривизны и станка типа ПГР приведены на рис. 7.6, а, б.

На станке ПГР-7 с передней передвижной установкой, выполненной в виде самостоятельного съемного агрегата, изготовляют по приведенной на рис. 7.6, в схеме детали знакопеременной кривизны с наибольшей стрелой вогнутости до 600 мм.

Гибка обтягиванием по пуансону на профилегибочных растяжных станках обеспечивает высокую производительность и достаточную точность изготавливаемых деталей. Область при-

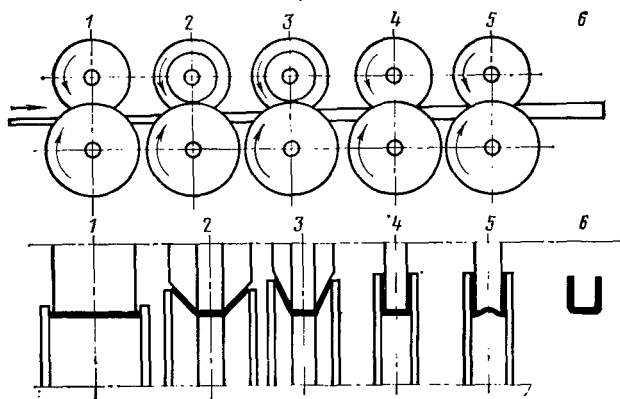


Рис. 7.7. Схема последовательной гибки из ленты П-образного профиля прокаткой на многосекционной роликовой машине

менения способа ограничивается возможностью получения деталей из профилей с углом изгиба $180 \dots 220^\circ$ и относительным радиусом изгиба не менее 10 вследствие дополнительного нагружения профиля растягивающим усилием при его изгибе.

На рис. 7.7 приведена схема последовательной гибки П-образного профиля из ленты прокаткой на многосекционной роликовой машине. Скорость перемещения заготовки в роликах достигает 180 м/мин. Точность гибки на этих машинах близка к точности при гибке в штампах. Себестоимость одного погонного метра профиля, получаемого последовательной гибкой из ленты, в три-четыре раза ниже себестоимости прессованных профилей. Особенно это касается тонкостенных фасонных профилей из сплавов титана и высокопрочных сталей, которые получают горячим прессованием с последующим теплым волочением и калиброванием на прессах с пульсирующим нагружением или прокаткой в клетях жесткой конструкции.

Многосекционные роликовые машины на авиационных заводах используют для изготовления профилей последовательной гибкой из сталей марок СН-2, СН-3, ВНО-3, ВНО-5 и других листовых материалов толщиной 0,5 ... 1,8 мм.

Особенности гибки труб

При гибке трубы ее сечение искажается и принимает эллиптическую форму. В растянутой зоне толщина стенки уменьшается, а в сжатой зоне возможна потеря устойчивости стенкой с образованием гофров. Поскольку трубопроводы, особенно в системах высокого давления, работают в условиях сложного нагружения под действием пульсирующей нагрузки и гидравлических ударов, искажения сечения трубы, вызываемые гибкой, не должны пре-

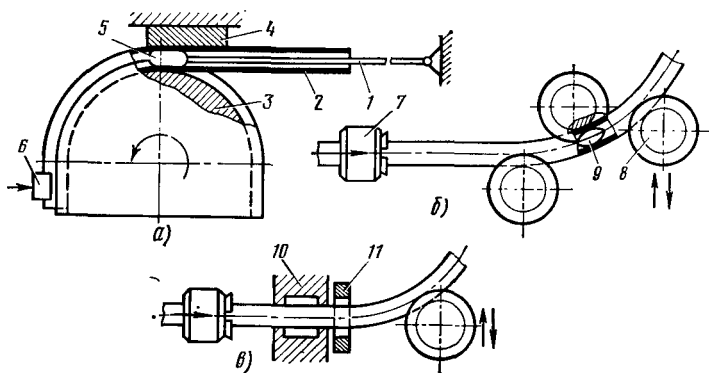


Рис. 7.8. Основные схемы механизированной гибки труб:

а — гибка намоткой на станке ТГС-2М; б — гибка проталкиванием через роликовую головку; в — гибка с местным индукционным нагревом

вышать допустимых значений. Кроме того, надежность и ресурс систем возрастают с повышением механических свойств материала трубопроводов и чистоты их внутренних и наружных поверхностей.

Высокая чистота поверхностей и минимальные искажения профиля трубы возможны только при механизированных способах гибки, основные схемы которых приведены на рис. 7.8.

Гибка на трубогибном станке ТГС-2М (рис. 7.8, а) труб диаметром до 80 мм с наибольшим углом изгиба 220° и радиусом кривизны 50 ... 350 мм осуществляется следующим образом. Трубу 2 вставляют в ручей между гибочной оправкой 3 и ползуном 4 и закрепляют ее конец зажимом 6. Внутри трубы для предотвращения искажения ее профиля вставляют калибрующую оправку (дорн) 5, которая в зоне деформирования удерживается тягой 1. Затем поворачивают гибочную оправку. Труба, наматываясь на вращающуюся оправку, изгибается по радиусу ее ручья.

Недостатком гибки намоткой является необходимость изготовления оснастки для каждого диаметра трубы и радиуса ее изгиба, а также невозможность без перестановки заготовки изгибать последнюю в разных плоскостях, в то время как трубопроводы с изгибом в одной плоскости составляют малый процент. Станки, работающие по схеме гибки проталкиванием заготовки через роликовую головку (рис. 7.8, б) или фильерную систему, позволяют изгибать трубу в разных плоскостях без ее перестановки. Изгиб в разных плоскостях без перестановки зажатой в патроне 7 заготовки достигается ее поворотом относительно продольной оси на заданный угол. Поступательное перемещение трубы, повороты ее вокруг оси и вертикальное перемещение гибочного ролика 8 (фильеры) взаимосвязаны; их последовательность и величина задаются программой или соответствующей расстановкой кулачков на программном диске. Для предотвращения искажения сечения трубы большого диаметра внутрь ее вводят оправку 9, которая в местегиба удерживается тросиком. Сменной оснасткой станков являются ролики или фильеры, заменяемые только при изменении диаметра изгибаемой трубы.

Обычно трубы гнут в холодном состоянии. При этом относительный радиус кривизны $\bar{\rho} = \rho/D$ (где ρ — радиус кривизны оси, а D — наружный диаметр заготовки) при допустимых искажениях сечения трубы в зависимости от толщины стенки δ должен быть не менее 2 ... 4. Когда $\bar{\rho} < 2 \dots 4$, трубы диаметром 16 мм и более при относительной толщине $\delta/D \geq 0,035$ можно гнуть с местным нагревом деформируемой зоны токами высокой частоты (рис. 7.8, в). Участки трубы, находящиеся в опорах *10* и за индуктором *11*, принудительно охлаждаются. Узкая зона нагрева препятствует развитию искажающих деформаций (овальность, гофрообразование), поэтому при гибке с местным нагревом отпадает необходимость в наполнителе.

Обтяжка

Обтяжка — это процесс формообразования деталей двойной кривизны изгибом и растяжением листовых заготовок до полного прилегания последних к профилированной оправке. Для более точного соответствия формы детали конфигурации оправки во всех волокнах заготовки при обтяжке создают напряжения растяжения, превосходящие предел текучести. Этот процесс находит широкое применение при изготовлении крупногабаритных обшивок и деталей двойной кривизны с высоким отношением радиуса кривизны к толщине материала.

Обтягивание сопровождается изгибом, значительным утонением и упрочнением материала заготовки. Поэтому обтягиванием плоской заготовки удается получать лишь весьма неглубокие детали. Возможности процесса значительно расширяются, если обтягивать не плоские, а предварительно изогнутые листовые заготовки. Цилиндрический и конический полуфабрикат незначительным дополнительным деформированием можно преобразовать в готовую деталь сложной формы.

В зависимости от схемы приложения внешних сил и формы обтягиваемой заготовки различают обтяжку поперечную, с продольным растяжением полуфабриката и кольцевую.

Поперечная обтяжка (рис. 7.9, а) выполняется в основном на обтяжных прессах типа ОП с закреплением продольных кромок полуфабриката в самоустанавливающихся зажимах, оси поворота которых неподвижны относительно станины пресса. Формообразование деталей осуществляется вследствие удлинения поперечных сечений заготовки под действием усилия, прикладываемого к подвижному пуансону. Методом поперечной обтяжки на прессе ОП-3 из листовых заготовок толщиной до 2 мм и длиной до 3000 мм изготовляют обшивки незамкнутой формы носовой части фюзеляжа, гондол двигателей, каналов всасывания (рис. 7.9, б) и различные законцовки со значительной продольной и поперечной кривизной.

Для уменьшения вредных сил трения заготовки о пуансон на пуансон наносят слой смазки. Основным недостатком поперечной

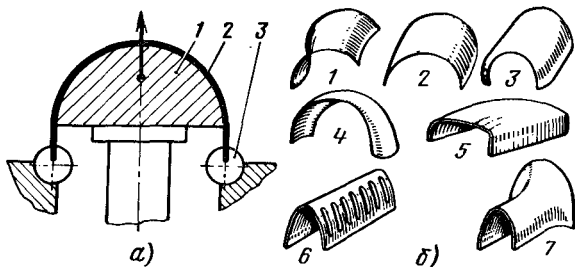


Рис. 7.9. Поперечная обтяжка:

a — схема поперечной обтяжки; 1 — оправка; 2 — заготовка; 3 — зажимные клеммы; *b* — типовые детали, изготовленные на прессе ОП-3; 1, 3, 7 — детали, изготавливаемые в спаренном виде путем повторной обтяжки по одному и тому же пуансону с промежуточной термообработкой; 2, 4, 5 — детали, изготавливаемые за одну операцию обтяжки из заготовок в свежескаленном состоянии; 6 — деталь, полученная обтяжкой с последующей ручной доработкой

обтяжки является большой технологический припуск, около 200 мм и более на каждую сторону по всей длине заготовки, который после обтяжки обрезают.

Обтяжка с продольным растяжением (рис. 7.10, *a*) производится на более сложном оборудовании — растяжно-обтяжных прессах РО-1М и РО-3М — вследствие движения пуансона и дополнительного растягивающего усилия, прикладываемого к узким сторонам заготовки со стороны подвижных зажимов. При этом движения пуансона и зажимов не зависят друг от друга. Процесс характеризуется меньшим отходом материала, меньшим пружинением и широко применяется при изготовлении из листовых заготовок с размерами до 2000×7000 мм обшивок незамкнутой формы (рис. 7.10, *b*), имеющих небольшую продольную кривизну. На прессе РО-3М, снабженном в отличие от пресса РО-1М верхним порталом для установки дополнительного пуансона, обтяги-

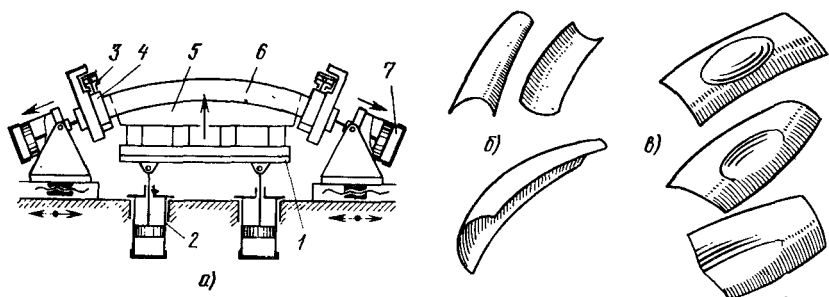


Рис. 7.10. Обтяжка с продольным растяжением:

a — схема процесса; 1 — стол; 2 и 3 — гидравлические устройства для подъема стола и закрепления заготовки; 4 — зажимы; 5 — пуансон; 6 — заготовка; 7 — гидравлическое устройство для создания растягивающего усилия; *b*, *b* — типовые детали, изготавливаемые на прессах типа РО

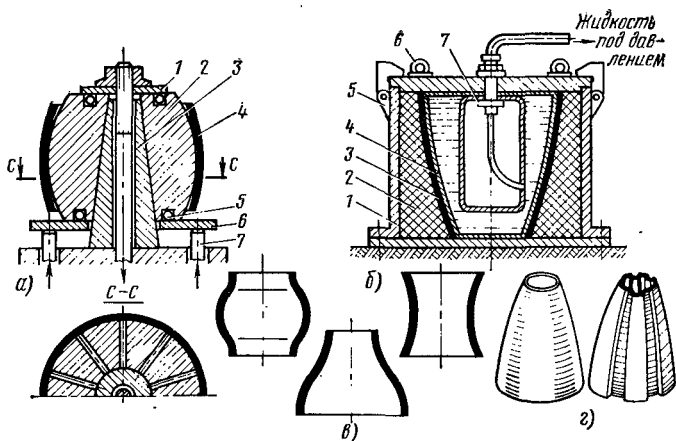


Рис. 7.11. Кольцевая обтяжка:

а) — схема обтягивания по жесткому «разжимному» пуансону; 1 — плита; 2 — сектор разжимного пуансона; 3 — конус; 4 — заготовка; 5 — пружина; 6 — плита; 7 — колонка; б) — схема установки для обтягивания трубчатых заготовок жидкостным пуансоном по жесткой матрице; 1 — корпус матрицы; 2 — матрица; 3 — заготовка; 4 — резиновый мешок; 5 — замок; 6 — рым-болт; 7 — корпус пуансона; в, г — типовые детали, получаемые кольцевой обтяжкой

ванием изготавливают детали, поверхность которых имеет знакопеременную кривизну (рис. 7.10, в).

Для повышения производительности труда и коэффициента использования материала применяют групповую обтяжку, при которой из одного обтягиваемого крупногабаритного полуфабриката получают затем разделением несколько одинаковых или различных деталей меньших размеров.

Кольцевая обтяжка (рис. 7.11) протекает аналогично процессу поперечной обтяжки. Предварительно согнутый из листа и сваренный в месте стыка полуфабрикат под действием усилий, создаваемых изнутри с помощью секций разжимного пуансона (рис. 7.11, а) или жидкостной среды (рис. 7.11, б), принимает форму пуансона или матрицы вследствие растяжения его поперечных сечений в тангенциальном направлении.

Обтягивание по жесткому «разжимному» пуансону производят на прессах типа ПКД (пресс для калибровки деталей). Типовые детали, изготавливаемые на прессах ПКД-1М и ПКД-2 из цилиндрических и конических трубчатых заготовок диаметром 400—2000 мм с наибольшей высотой до 1500 мм, приведены на рис. 7.11, в.

Обтягивание по жесткой матрице жидкостным пуансоном производят на специальных установках (рис. 7.11, б) для изготовления сварных деталей диаметром до 400 мм (рис. 7.11, г) из цветных и черных сплавов сравнительно небольшой прочности и небольших толщин (2 ... 3 мм). Заготовки из АМгМ перед обтяжкой необходимо подвергать отжигу. Заготовки, сваренные из материала марок АМцМ, Ст20 и Х18Н10Т, термообработке не подвергаются. Проковка сварных швов перед формообразованием нежелательна, так как при больших степенях деформации возможен разрыв материала по шву и в околошовной зоне.

Коэффициент обтяжки

Как и всякий другой технологический процесс, процесс обтяжки имеет свои ограничения, определяемые степенью деформации того или иного материала, которую он может претерпевать без разрушения. За меру степени деформации принимают коэффициент обтяжки $k_{обт}$, представляющий собой отношение длины наиболее растянутого волокна после обтяжки L_d к его первоначальной длине $L_{п}$:

$$k_{обт} = L_d/L_{п}. \quad (7.7)$$

Обтяжка за одну операцию возможна в том случае, если $k_{обт}$ не превышает предельного значения коэффициента обтяжки $k_{обт. пр}$.

На величину $k_{обт. пр}$ влияют механические свойства материала, его толщина, плавность очертания контуров сечений детали, а также качество смазки, применяемой для уменьшения сил трения между заготовкой и пуансоном. С увеличением относительного удлинения, соответствующего моменту образования шейки, и толщины материала значение $k_{обт. пр}$ повышается. Предельный коэффициент поперечной обтяжки за одну операцию колеблется для алюминиевых сплавов в интервале 1,04 ... 1,06. Для обтяжки с продольным растяжением величина этого коэффициента несколько больше. При кольцевой обтяжке силы трения, действующие в тангенциальном направлении, оказывают меньшее влияние на напряженно-деформированное состояние заготовки, которое с увеличением количества секторов пуансона все более приближается к осесимметричному. Поэтому для кольцевой обтяжки предельный коэффициент больше, чем в двух предыдущих случаях, и находится для различных сталей и алюминиевых сплавов в пределах 1,06 ... 1,2.

При изготовлении из сталей и алюминиевых сплавов обшивок толщиной более 2 ... 3 мм и обшивок, при формообразовании которых $k_{обт} > k_{обт. пр}$, применяется двукратное обтягивание заготовки по одному пуансону с разупрочняющей термообработкой между первой и второй операциями. Обшивки из магниевых и титановых сплавов изготавливают обтяжкой при повышенных температурах, для чего металлические пуансоны нагревают трубчатыми электронагревателями, а заготовку непосредственно перед обтяжкой — тепловыми экранами. Для получения деталей повышенной точности и прочности из высокопрочных и коррозионно-стойких сталей операцию обтяжки совмещают с термической обработкой, т. е. применяют термомеханическую обработку.

Вытяжка

Вытяжкой (или глубинной вытяжкой) называют процесс преобразования незакрепленной по кромкам плоской заготовки в полую деталь замкнутого контура при помощи штампов. Из ли-

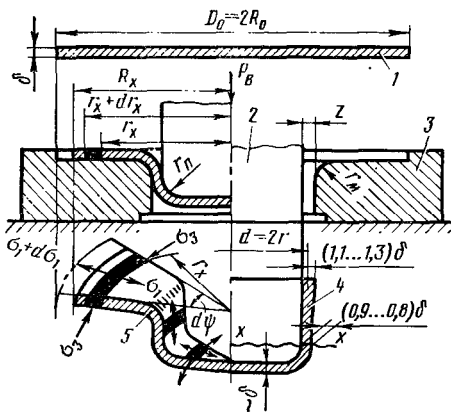


Рис. 7.12. Схема вытяжки цилиндрической детали:

1 — заготовка; 2 — пуансон; 3 — матрица; 4 — деталь, полученная глубокой вытяжкой, и характер изменения толщины ее стенки; 5 — элемент в промежуточный момент вытяжки и его напряженное состояние

цилиндрическая деталь с диаметром d по средней линии. При вытяжке наибольшей пластической деформации подвергается часть заготовки (фланец), находящаяся на плоском торце матрицы и на ее скругленной радиусом r_m кромке.

В процессе вытяжки в тангенциальных и радиальных сечениях фланца возникают значительные растягивающие σ_1 и сжимающие σ_3 напряжения. Касательные напряжения в этих сечениях вследствие осевой симметрии деформирования отсутствуют. Отсюда следует, что напряженное состояние фланца можно считать плоским. В этом случае достаточно просто решается задача по определению главных напряжений σ_1 и σ_3 . Для этого составим в полярной системе координат дифференциальное уравнение равновесия элемента фланца в промежуточный момент вытяжки (см. рис. 7.12) без учета изменения его толщины по сравнению с исходной толщиной заготовки δ :

$$(\sigma_1 + d\sigma_1)(r_x + dr_x)\delta d\psi - \sigma_1 \delta r_x d\psi + 2\sigma_3 \delta dr_x \sin \frac{d\psi}{2} = 0.$$

Приняв ввиду малой величины угла $\sin \frac{d\psi}{2} \approx \frac{d\psi}{2}$ и пренебрегая бесконечно малыми второго порядка, найдем

$$d\sigma_1 = -(\sigma_1 + \sigma_3) \frac{dr_x}{r_x}. \quad (7.8)$$

Решая полученное уравнение с уравнением пластичности для двухосного разноименного напряженного состояния

$$\sigma_1 + \sigma_3 = \beta \sigma_i \text{ ср}, \quad (7.9)$$

$$\text{получим } \sigma_1 = -\beta \sigma_i \text{ ср} \int \frac{dr_x}{r_x} = -\beta \sigma_i \text{ ср} \ln r_x + C_1, \quad (7.10)$$

стовых заготовок вытяжкой получают детали с весьма сложной формой поверхности и габаритными размерами в несколько метров.

Простейшая схема процесса вытяжки цилиндрической детали из плоской заготовки показана на рис. 7.12. Под действием усилия вытяжки P_B , приложенного к пуансону, заготовка втягивается в зазор z между пуансоном (с закругленной радиусом r_n кромкой) и матрицей, величина которого несколько превышает начальную толщину материала δ . Диаметр заготовки D_0 вследствие пластической деформации уменьшается, и в результате получается полая

где β — коэффициент, учитывающий влияние среднего главного напряжения σ_2 . При вытяжке, когда $\sigma_2 = 0$ или мало по сравнению с σ_1 и σ_3 , усредненно принимают $\beta = 1,1$; $\sigma_{i \text{ ср}}$ — среднее сопротивление деформированию в очаге деформации; C_1 — постоянная интегрирования.

Для отыскания C_1 используем граничное условие $\sigma_1 = 0$ при $r_x = R_x$. Тогда из (7.10) найдем

$$C_1 = 1,1\sigma_{i \text{ ср}} \ln R_x.$$

Подставив значение C_1 в уравнение (7.10), получим

$$\sigma_1 = 1,1\sigma_{i \text{ ср}} \ln \frac{R_x}{r_x}. \quad (7.11)$$

Зная σ_1 , из уравнения (7.9) найдем

$$\sigma_3 = 1,1\sigma_{i \text{ ср}} - \sigma_1 = 1,1\sigma_{i \text{ ср}} \left(1 - \ln \frac{R_x}{r_x} \right). \quad (7.12)$$

Из формул (7.11) и (7.12) следует, что с уменьшением r_x растягивающие напряжения σ_1 увеличиваются, вызывая уменьшение толщины заготовки, а сжимающие напряжения σ_3 уменьшаются. В периферийной же части фланца преобладают тангенциальные сжимающие напряжения и деформации, которые вызывают увеличение первоначальной толщины заготовки. Стенки детали 4 в результате этого получают переменную толщину (см. рис. 7.12). Относительное утолщение (до 30 %) и утонение (до 20 %) стенок детали при вытяжке зависит от многих факторов, в том числе механических свойств исходного материала, отношения диаметра заготовки к диаметру детали и радиуса вытяжного ребра матрицы к толщине заготовки, формы торцевой части пуансона, вида смазки и т. п.

Наибольшее уменьшение исходной толщины заготовки наблюдается в той части детали, где стенка сопрягается с дном. В сечении $x-x$, которое принято называть опасным, растягивающие напряжения достигают своего максимального значения. Если они в опасном сечении превысят предел прочности материала, то заготовка порвется.

При определенных соотношениях размеров заготовки и вытягиваемой детали фланец под действием сжимающих напряжений σ_3 , которые у наружной кромки достигают своего максимального значения, может потерять устойчивость с образованием нескольких гофров по периметру. К концу вытяжки высота гофров увеличивается, стенки сближаются, образуя складки, которые не могут быть разглажены в зазоре между пуансоном и матрицей, и заготовка разрушается или получается недоброкачественная деталь. Таким образом, появление гофров нарушает нормальный ход процесса вытяжки и часто приводит к браку.

Для предотвращения образования складок на фланце применяются следующие основные способы:

а) вытяжка с прижимом фланца заготовки (рис. 7.13, а). К прижимной плите прикладывается усилие Q , достаточное для предотвращения потери устойчивости фланцем;

б) вытяжка с ограничением высоты образующихся гофров. Неподвижная плита (складкодержатель), которая в период деформирования заготовки находится от зеркала матрицы на расстоянии, равном или несколько большем, чем исходная толщина

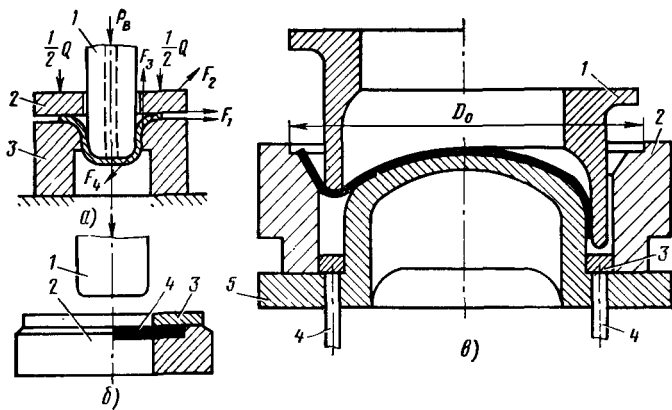


Рис. 7.13. Схемы основных способов предотвращения образования складок на фланце:

a — вытяжка с прижимом фланца заготовки; 1 — пуансон; 2 — прижимное кольцо; 3 — матрица; F_1, F_2, F_3, F_4 — силы трения; *б* — вытяжка с ограничением высоты образующих гофров; 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — складкодержатель; 4 — заготовка; *в* — вытяжка с перегибом фланца заготовки; 1 — верхняя кольцевая матрица; 2 — нижняя матрица; 3 — выталкиватель; 4 — штифты выталкивателя; 5 — пуансон

заготовки (рис. 7.13, б), ограничивает высоту возникающих на фланце гофров. При переходе через вытяжное ребро матрицы образовавшиеся невысокие пологие гофры разглаживаются. Достоинством этого способа является «автоматическое» регулирование давления прижима. Это давление возникает как реакция на усилия, с которыми фланец заготовки прижимается к складкодержателю. Недостаток вытяжки со складкодержателем, наиболее ощутимый при изготовлении деталей из тонкого материала, состоит в необходимости точно выдерживать зазор между поверхностями фланца заготовки и складкодержателя не более $(0,1 \dots 0,2) \delta$. В противном случае на наружной кромке фланца наблюдается пластический изгиб, приводящий к образованию большого числа мелких складок. Такие складки в зазоре между пуансоном и матрицей не разглаживаются в результате посадки, а сминаются;

в) вытяжка с перегибом фланца заготовки (рис. 7.13, в). Вследствие увеличения растягивающих напряжений и момента инерции фланца последний не теряет устойчивости почти до конца процесса деформирования. Появляющиеся на периферии фланца в конечный момент вытяжки невысокие гофры разглаживаются в зазоре между пуансоном и матрицей. Однако этот способ позволяет получать менее глубокие детали, чем способы «а» и «б», так как в опасном сечении возникают более значительные растягивающие напряжения σ_1 .

Вытяжка с прижимом, обеспечиваемым специальным устройством, и перегибом фланца заготовки осуществляется на эксцен-

триковых и кривошипных прессах простого действия, гидравлических прессах, а вытяжка со складкодержателем — на механических прессах двойного действия.

Коэффициент вытяжки

Из формулы $\sigma_1 = 1,1\sigma_{i\text{ ср}} \ln \frac{R_x}{r_x}$ следует, что величина σ_1 достигает наибольшего значения, когда $\ln \frac{R_x}{r_x} \rightarrow \ln \frac{R_0}{r} = \ln \frac{D_0}{d} = \ln k$, т. е.

$$\sigma_{1\text{ max}} = 1,1\sigma_{i\text{ ср}} \ln k. \quad (7.13)$$

Величину k , равную отношению диаметра заготовки к диаметру детали и характеризующую относительное уменьшение внешней окружности заготовки, называют коэффициентом вытяжки.

Анализ формулы (7.13) показывает, что при некотором значении $k > k_T$ величина $\sigma_{i\text{ max}}$ может превысить предел прочности материала заготовки σ_B . В этом случае заготовка разрушится по опасному сечению, где материал наименее упрочнен и толщина стенки минимальна. Теоретическое значение предельного коэффициента вытяжки k_T , при котором еще возможно получение детали без отрыва дна, найдем из формулы (7.13), подставив вместо $\sigma_{1\text{ max}}$ и $1,1\sigma_{i\text{ ср}}$ их предельные значения, равные σ_B : $\sigma_B = \sigma_B \ln k_T$, откуда $\ln k_T = 1$; $k_T = e = 2,72$.

В реальных условиях вытяжки в опасном сечении дополнительно к σ_1 действуют еще напряжения от трения $\sigma_{\text{тр}}$ заготовки об элементы штампа и изгиба σ_r заготовки на скругленных кромках матрицы и пуансона. Кроме того, в процессе вытяжки материал фланцевой части заготовки упрочняется значительно больше, чем в зоне опасного сечения. Поэтому действительное значение предельного коэффициента вытяжки $k_{\text{пр}}$ несколько меньше теоретического k_T :

$$k_{\text{пр}} = 1,7 \dots 2,1.$$

Практически вытяжка цилиндрической детали без отрыва дна возможна в том случае, если значение соответствующего ей коэффициента вытяжки k_d меньше предельного, т. е.

$$k_d = D_0/d \leq (0,85 \dots 0,95) k_{\text{пр}}.$$

Увеличению $k_{\text{пр}}$ до 2,2 ... 2,3 способствуют уменьшение сил трения F_1, F_2, F_3 (при нанесении на заготовку смазки соответствующей вязкости) и увеличение полезной силы трения F_4 (рис. 7.13, а) между заготовкой и пуансоном с целью перемещения опасного сечения в область более упрочненного материала. Для этого поверхности пуансона в зоне, прилегающей к дну детали, придают шероховатость и следят за тем, чтобы в процессе вытяжки туда не попадала смазка.

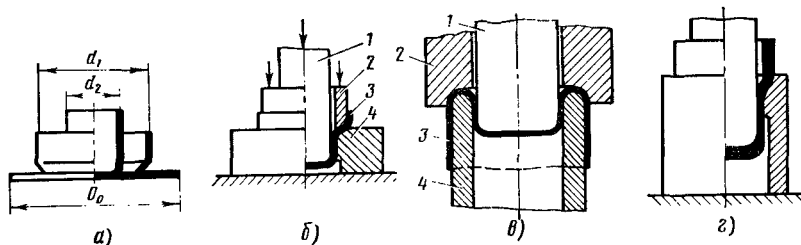


Рис. 7.14. Повторные операции вытяжки:

a — последовательность формоизменения плоской заготовки при вытяжке за две операции; *б, в* — вытяжка без утонения заготовки прямым и обратным методами; *г* — вытяжка с утонением заготовки; 1 — пуансон; 2 — прижим; 3 — заготовка; 4 — матрица

Когда невозможно получить деталь требуемой формы за одну операцию, обычно применяют повторные операции вытяжки (рис. 7.14), между которыми материал детали разупрочняют термической обработкой. Вторая и последующие операции вытяжки могут производиться как без утонения, так и с преднамеренным утонением заготовки.

Вытяжку без утонения заготовки (рис. 7.14, б, в) осуществляют прямым и обратным (реверсивным) методами при помощи штампов, у которых зазор между пуансоном и матрицей превышает наибольшую толщину стенки заготовки, поступившей с предыдущей операции. Вытяжка обратным методом сопровождается появлением меньших по величине остаточных напряжений в материале, так как наружная и внутренняя поверхности последней вследствие трения о матрицы штампов первой и второй операций оказываются упрочненными почти одинаково. Вместе с тем обратная вытяжке протекает в менее благоприятных условиях, чем прямая (усилия в среднем на 20 % больше, износ матрицы интенсивнее). Поэтому обратный метод вытяжки используется преимущественно для изготовления деталей с двойными стенками, а также тонкостенных деталей сферической или параболической формы.

Степень деформации заготовки на второй и последующих операциях характеризуется *коэффициентом повторной вытяжки* k_i , равным отношению диаметров заготовок, полученных на предыдущей ($i - 1$)-й и выполняемой i -й операциях:

$$k_i = \frac{d_{i-1}}{d_i}. \quad (7.14)$$

Предельные коэффициенты для второй и последующих операций вытяжки k_i незначительно отличаются друг от друга, всегда несколько меньше, чем для первой операции, и изменяются от 1,25 до 1,45.

Отношение диаметра исходной заготовки D_0 к диаметру детали d_n после заключительной операции вытяжки называют *суммарным* или *итоговым коэффициентом* вытяжки $k_{1,n}$ за n операций:

$$k_{1,n} = D_0/d_n. \quad (7.15)$$

Так как $d_i = d_{i-1}/k_i$, то между величинами k_1, k_2, \dots, k_n и $k_{1,n}$ легко установить соотношение

$$k_{1,n} = k_1 k_2 \dots k_n \approx k_1 k_2^{n-1} \quad (7.16)$$

и по формуле

$$n = 1 + \frac{\lg k_{1,n} - \lg k_1}{\lg k_2} \quad (7.17)$$

определить число операций, необходимых для вытяжки заданной детали.

Вытяжку с утонением заготовки производят штампами, у которых зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины стенки полуфабриката (рис. 7.14, з). Используют ее для изготовления деталей со стенками строго определенной толщины, как правило, меньшей, чем толщина дна. Степень деформации заготовки в этом случае характеризуется коэффициентом вытяжки с утонением k' , определяемым из выражений

$$k'_1 = S/S_1; \quad k'_i = S_{i-1}/S_i; \quad k'_{1,n} = S/S_n, \quad (7.18)$$

где $S = \pi d D_0$ — площадь боковой поверхности исходной заготовки; S_1, S_n — площади поперечного сечения детали после первой и n -й операции вытяжки; S_{i-1}, S_i — площади поперечного сечения полых цилиндрических заготовок, полученных на предыдущей и выполняемой операциях.

Число вытяжных операций n' для получения заданной детали определяют по аналогичной (7.17) формуле

$$n' = 1 + \frac{\lg k'_{1,n} - \lg k'_1}{\lg k'_2}, \quad (7.19)$$

принимая допустимые значения k'_1 и k'_2 , как и в случае многооперационной вытяжки без утонения заготовки, равными соответственно $k_{\text{пр}}$ и $k_{i \text{ пр}}$.

При окончательном расчете вытяжных операций следует иметь в виду, что степень деформации от первой операции, где она максимально допустимая, к последней должна уменьшаться, т. е. $k_1 > k_2 > k_n$ и $k'_1 > k'_2 > k'_n$.

Усилие вытяжки

Рядом исследователей получены точные формулы для определения потребного усилия вытяжки $P_{\text{в}}$. На практике широко используют упрощенный метод расчета, основанный на том, что усилие, развиваемое прессом, должно быть не меньше усилия, необходимого для отрыва дна детали:

$$P_{\text{в max}} = \pi d \delta \sigma_{\text{в}}. \quad (7.20)$$

Величину $P_{\text{в max}}$ корректируют с учетом конкретного значения коэффициента вытяжки $k_{\text{д}}$, соответствующего геометрии данной детали:

$$P_{\text{в}} = c P_{\text{в max}}, \quad (7.21)$$

где c — поправочный коэффициент, который с уменьшением $k_{\text{д}}$ от 2,0 до 1,25 изменяется соответственно от 1,0 до 0,4.

Вытяжка коробчатых и осесимметричных нецилиндрических деталей

Особенность вытяжки коробчатых деталей состоит в неравномерности напряженно-деформированного состояния по периметру заготовки (рис. 7.15, а). Наибольшие деформации при вытяжке

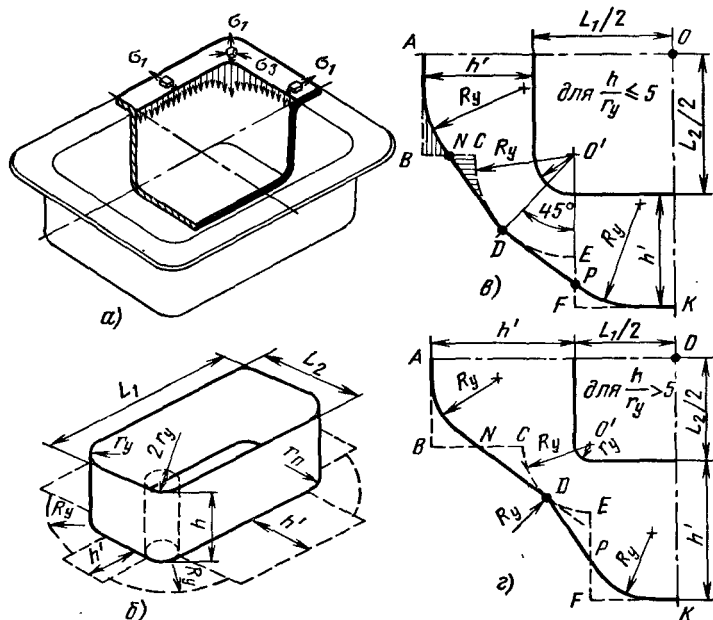


Рис. 7.15. К построению контура заготовки для вытяжки полой коробчатой детали с прямоугольным дном (по Б. П. Звороно):

а — схема напряженного состояния и распределения напряжений растяжения по периметру заготовки; б — контур условной заготовки; а, а) — контуры скорректированных заготовок для деталей с отношением $h/r_y \leq 5$ и $h/r_y > 5$

возникают в зонах закругления углов коробки. При этом величина растягивающих напряжений на угловых закруглениях меньше, чем при вытяжке полого цилиндра диаметром $2r_y$ и высотой h (вследствие разгрузки угловых закруглений прямолинейными участками). Эта разница тем больше, чем больше отношение ширины коробки L_2 к радиусу закругления ее углов r_y (рис. 7.15, б).

Максимальная величина растягивающих напряжений на угловых закруглениях зависит от коэффициента вытяжки k_y , который для коробчатой детали высотой h может быть условно выражен по аналогии с цилиндрической деталью в виде отношения

$$k_y = \frac{R_y}{r_y} \approx \sqrt{1 + 2 \frac{h}{r_y}}, \quad (7.22)$$

где R_y — радиус заготовки для вытяжки цилиндрической детали радиусом r_y и высотой h .

Экспериментально установлено, что предельное значение условного коэффициента вытяжки $k_{y \text{ пр}}$, достижимое за одну операцию, в 1,5 ... 2 раза больше, чем при вытяжке цилиндрической детали, и является функцией отношения L_2/r_y .

Неравномерный характер деформации по периметру заготовки необходимо учитывать и при определении формы и размеров последней. Ее площадь должна быть равна поверхности детали (с учетом припуска на обрезку). По одному из применяемых на практике способов расчета длину ($L_1 + 2h'$) и ширину ($L_2 + 2h'$) заготовки на прямых участках (рис. 7.15, б) определяют, как при гибке, по развернутой длине нейтральной линии полой детали с учетом удлинения металла при вытяжке (примерно на 5%). Радиус закругления на углах заготовки R_y подсчитывают, как при вытяжке, из условия равенства поверхности четверти полого цилиндра диаметром $2r_y$ высотой h и площади углового участка заготовки.

Для коробчатой детали без фланца

$$h' = 0,95h - 0,43(r_{\Pi} + \delta/2); \quad (7.23)$$

$$R_y = \sqrt{(r_y - r_{\Pi})^2 + (2r_y + \delta)(h - r_{\Pi} - \delta) + \pi(r_y - r_{\Pi})(r_{\Pi} + \delta/2) + 2(r_{\Pi} + \delta/2)^2}, \quad (7.24)$$

где r_{Π} — радиус скругления торцевых кромок пуансона; h — высота коробчатой детали (с учетом припуска на обрезку).

Полученный ступенчатый контур условной заготовки должен быть скорректирован таким образом, чтобы он имел плавную форму без резких переходов. Площади скорректированной ($OANDPKO$) и условной ($OABCDEFGKO$) заготовок будут равны, если точки N и P , через которые проходят касательные к дугам окружностей радиусом R_y , делят пополам отрезки BC и EF (рис. 7.15, в, г). При таком построении контура заготовки высота по всему периметру отштампованной коробчатой детали будет одинаковой. Прямоугольные коробки квадратного сечения получают вытяжкой из круглых заготовок.

При вытяжке нецилиндрических деталей, имеющих форму тел вращения, на заготовке в начальный момент формообразования имеется так называемая «свободная» от контакта с рабочими частями штампа зона, в которой действуют напряжения σ_1 и σ_3 . Под действием тангенциальных напряжений сжатия σ_3 заготовка в этой зоне может потерять устойчивость с образованием нескольких гофров или складок (рис. 7.16, а, б). Небольшие пологие гофры разглаживаются между формообразующими поверхностями матрицы и пуансона в конечный момент вытяжки. Образование складок недопустимо. Потерю устойчивости предотвращают увеличением радиальных растягивающих напряжений, повышая силу прижима, а также предусматривая в конструкции штампа специальные перетяжные ребра (рис. 7.16, в) или пороги, затрудняющие перемещение фланца заготовки. Однако чрезмерное увеличение радиальных напряжений растяжения приводит к разрушению заготовки.

Если нецилиндрическую осесимметричную деталь нельзя изготовить за одну операцию, то применяют многооперационную вытяжку и последовательно изменяют контуры полуфабриката до заданной формы детали (рис. 7.16, г). Детали конической, сферической или параболической формы могут быть получены также из ступенчатого полого полуфабриката, который приобретает окончательные плавные контуры на заключительной калибровочной операции. При этом очертания ступенчатого полуфабриката перед операцией калибровки в специальном штампе должны вписываться в контур готовой детали (рис. 7.16, д).

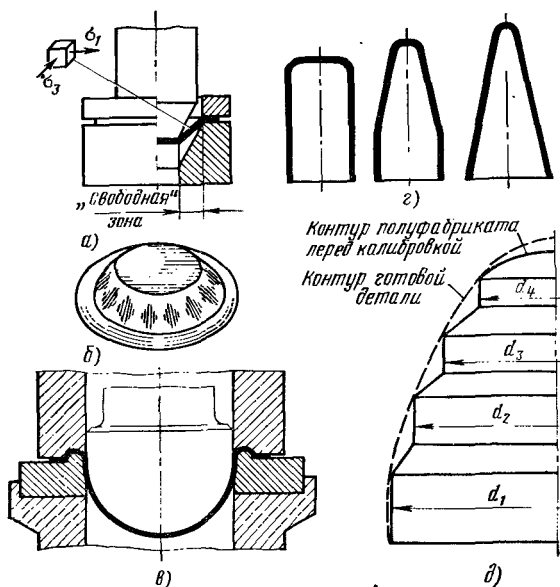


Рис. 7.16. Вытяжка куполообразных нецилиндрических деталей:

а — образование свободной зоны и напряженное состояние материала заготовки в этой зоне; б — образование складок в свободной зоне заготовки; в — вытяжка полушеры при помощи штампа с перетяжным ребром; г — последовательность изготовления конической детали за несколько операций; д — контур полого ступенчатого полуфабриката перед калибровкой (d_1, d_2, d_3, d_4 — диаметры цилиндрических уступов после первой — четвертой операций вытяжки)

Вытяжка конической детали с калибровкой в конце хода пуансона возможна в одну операцию при условии

$$h/d_1 \leq \left(0,43 + 32 \frac{\delta}{D_0}\right) \sqrt{d_2/d_1}, \quad (7.25)$$

где d_1 и d_2 — больший и меньший диаметры конуса; h — его высота; D_0 — диаметр плоской заготовки.

Получение тел вращения с полусферическим дном за одну операцию вытяжки с прижимом заготовки возможно в том случае, если радиус кривизны полусферы $\rho \leq 77\delta$. Когда $77\delta < \rho \leq 120\delta$, на поверхности полусферы образуются невысокие гофры, которые разглаживаются между рабочими поверхностями штампа в конце хода пуансона. Форма матрицы в этом случае должна соответствовать внешней поверхности детали.

Вытяжка с периодической посадкой гофров

Детали с замкнутым контуром, а также открытой формы, получаемые в результате сочетания гибки с вытяжкой, изготавливают при помощи упрощенных штампов (рис. 7.17) за несколько ударов пневматического листоштамповочного молота типа МЛ с периодической посадкой образующихся гофров вручную или пуансоном. Вручную гофры устраняют резиновым или деревянным молотком непосредственно на матрице. Если гофры значительны, а материал толстый, то их посадку ведут на выколочных молотах или на специальных наковальнях, расположенных вблизи листоштамповочных молотов. Для ограничения глубины вытяжки за удар используют фанерные рамки, которые по мере формоизменения заготовки поочередно снимают. Заготовку периодически подвер-

гают разупрочняющей термообработке. Последние калибрующие удары наносят без рамок.

Для создания местного дополнительного усилия при деформировании заготовки применяют резиновые прокладки. Резину также используют для ограничения глубины проникновения пуансона в матрицу, когда изготавливают детали полукруглой формы (обтекатели, зализы). В зависимости от конфигурации детали резину укладывают внутрь матрицы или на заготовку.

Заготовки обычно вырезают ножницами по разметке с припуском от 10 ... 15 мм для мелких донышек с фланцем и до 40 ... 45 мм на сторону для деталей произвольной полукруглой формы. Разметку производят по шаблону заготовки (ШЗ). После формообразования детали припуск обрезают.

Прерывистый характер процесса формообразования на листоштамповочных молотах позволяет получать при помощи простых штампов детали сложной формы, которые вытяжкой с прижимом заготовки можно изготовить лишь за несколько операций с использованием специальных штампов. Однако качество изготавливаемых этим методом деталей в значительной мере зависит от квалификации рабочего. Кроме того, процесс отличается низкой производительностью и тяжелыми условиями труда (вибрации, шум). Поэтому штамповку на молотах типа МЛ обычно применяют в начале запуска нового изделия в серийное производство, когда сложная оснастка для прессов еще не готова, или при изготовлении небольших партий деталей в мелкосерийном и опытно-производстве.

Вытяжка штампами с универсальными матрицей или пуансоном

Сложность, большая трудоемкость и высокая стоимость штампов делают нерентабельным применение процесса вытяжки в условиях мелкосерийного и опытного производства. Для серийного, мелкосерийного и опытного производства практический интерес представляют схемы процесса вытяжки (рис. 7.18), основанные на замене одного из жестких элементов штампа (пуансона или матрицы) универсальным, что позволяет переходить к изготовлению деталей другой формы с меньшими затратами на создание и отладку штамповой оснастки.

Вытяжка штампами с универсальной матрицей (резина, жидкость, газ) характеризуется такими особенностями:

1) силы трения между заготовкой и матрицей почти отсутствуют, а между пуансоном и заготовкой они значительно больше,

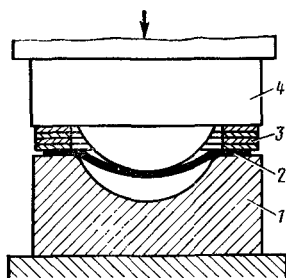


Рис. 7.17. Схема формообразования деталей на пневматических листоштамповочных молотах с применением ограничительных рамок:

1 — матрица; 2 — заготовка; 3 — фанерные рамки; 4 — пуансон

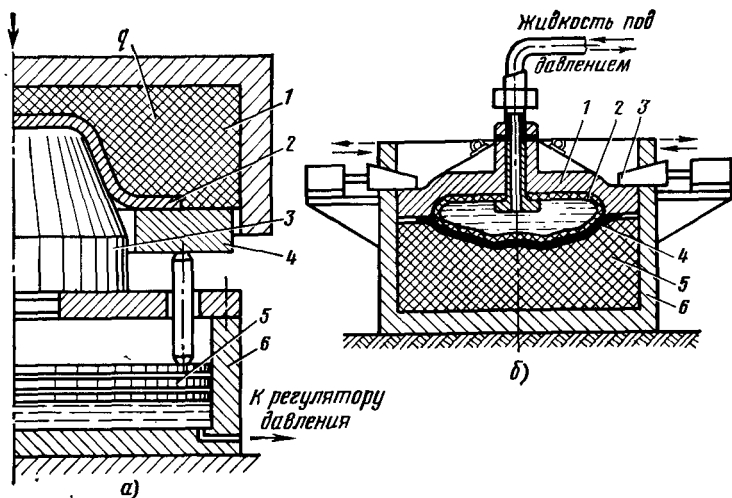


Рис. 7.18. Вытяжка штампами с универсальной матрицей или пуансоном:

а — схема штампа с универсальной матрицей; 1 — резина; 2 — заготовка; 3 — пуансон; 4 — прижимная плита; 5 — поршень гидравлического цилиндра; 6 — гидравлический цилиндр; б — схема вытяжки жидкостным пуансоном; 1 — контейнер пуансона; 2 — резиновый мешок; 3 — клиновой замок; 4 — заготовка; 5 — матрица; 6 — корпус матрицы

чем в жестких штампах, что способствует разгрузке опасного сечения детали;

2) равномерно распределенное давление со стороны матрицы на заготовку исключает возможность появления свободной зоны при вытяжке нецилиндрических куполообразных деталей.

Эти особенности расширяют технологические возможности и способствуют получению деталей с несколько большим коэффициентом вытяжки и более высоким качеством поверхности, чем в жестких штампах.

Давление q со стороны матрицы при вытяжке деталей из алюминиевых сплавов должно быть 34 ... 49 МПа (350 ... 500 кгс/см²), а из листовой стали — 49 ... 118 МПа (500 ... 1200 кгс/см²). Вытяжку резиной можно вести на обычных прессах при помощи универсальных вытяжных штампов (рис. 7.18, а) или на специальных прессах для штамповки-вытяжки резиной. Недостаток этого процесса состоит в том, что для его осуществления необходимо оборудование большой мощности и регулирование q в процессе вытяжки в зависимости от материала детали и ее конфигурации.

Вытяжка жидкостным пуансоном (рис. 7.18, б) применяется для изготовления неглубоких крупногабаритных деталей, а также деталей сложной формы (с использованием разъемных матриц), которые другими способами получить невозможно.

При этом методе заготовку устанавливают в зазор между матрицей и контейнером пуансона, выполняющим функции складкодержателя. Формоизмене-

ние заготовки происходит под давлением жидкости, нагнетаемой в специальный резиновый мешок. В процессе формования между вытяжным ребром матрицы и заготовкой возникают значительные силы трения, а между заготовкой и пуансоном они почти отсутствуют. В связи с этим происходит значительное утонение заготовки и ее одностороннее втягивание в матрицу под действием несимметричных сил, возникающих из-за неравномерности толщины материала и других факторов. Достижимые значения $k_{\text{пр}}$ меньше, чем при обычной вытяжке.

Как видно из схемы, для создания усилия вытяжки пресс не нужен. Штампы такого типа являются самостоятельной установкой и размеры его практически ничем не ограничены.

Рельефная формовка, отбортовка, раздача, обжим, формовка резиной

Процессы: рельефная формовка, отбортовка, раздача (растяжка), обжим, формовка резиной, — характеризуются изменениями формы заготовки в результате местных деформаций различного характера.

Рельефная формовка — процесс образования местных углублений или выпуклостей в результате растяжения и частичного перемещения металла (рис. 7.19, а). Возможность формовки без разрывов заготовки ориентировочно определяется по относительному удлинению материала в зоне наибольшей деформации:

$$\frac{l_1 - l}{l} \leq 0,75 \epsilon_{\text{III}}, \quad (7.26)$$

где l_1 — длина по выбранному сечению после формовки; l — длина того же участка до формовки; ϵ_{III} — допустимое относительное удлинение материала детали.

Усилие для формовки ребер жесткости с длиной периметра L приближенно определяют по формуле

$$P = c_1 L \delta \sigma_{\text{в}}. \quad (7.27)$$

Коэффициент c_1 , зависящий от ширины и глубины ребра, принимают равным 0,7 ... 1,0. Рельефная формовка выполняется при помощи жестких штампов на механических прессах или листоштамповочных молотах, а также резиной на гидравлических прессах.

Отбортовка отверстий — процесс образования бортов у предварительно выполненных отверстий металла жестким пуансоном (рис. 7.19, б) или эластичной средой. Способность материала к отбортовке определяется

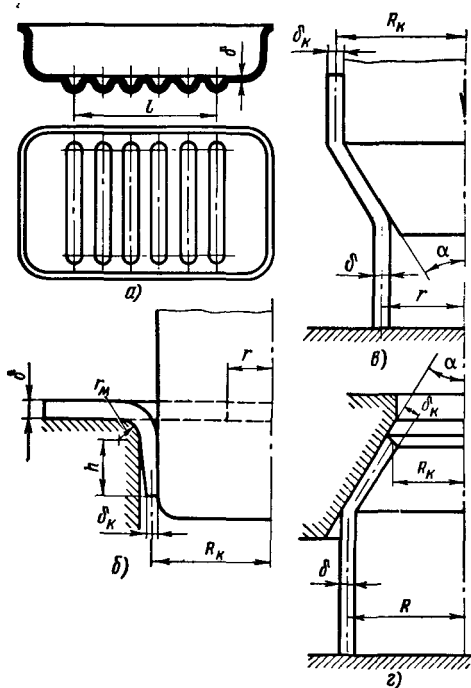


Рис. 7.19. Схемы прессов и примеры рельефной формовки (а), отбортовки круглого отверстия (б), раздачи трубчатой заготовки коническим пуансоном (в) и обжима конической матрицей (г)

его механическими свойствами, чистой обработки отбортовываемой кромки и другими факторами и характеризуется коэффициентом отбортовки

$$k_{от} = R_K/r, \quad (7.28)$$

где r и R_K — радиусы отверстия до и после отбортовки.

Средние значения предельного коэффициента отбортовки $k_{от.пр}$ в зависимости от относительной толщины материала $\frac{\delta}{2r} \cdot 100 = 2 \dots 30$ для алюминиевых сплавов 1,2 ... 2,1, коррозионно-стойких сталей (X18H10T и 2X18H12C4TЮ) — 1,5 ... 2,7, а для титана и его сплавов — 1,15 ... 1,7.

Процесс отбортовки сопровождается возрастающим по высоте борта утонением материала, достигающим у кромки 20 ... 30 %. Если $k_{от} > k_{от.пр}$, то у края горловины появляются продольные трещины. Высота отбортованной горловины h (рис. 7.19, б) определяется с достаточной для практических целей точностью по формуле

$$h = R_K - r - 0,43r_M + 0,72\delta. \quad (7.29)$$

При отбортовке отверстий прямоугольной формы с закругленными углами за коэффициент отбортовки $k'_{от}$ и его предельное значение $k'_{от.пр}$ принимают

$$k'_{от} = R_y/r'_y; \quad k'_{от.пр} = (1,10 \dots 1,15) k_{от.пр}, \quad (7.30)$$

где r_y и R_y — радиусы закругления углов прямоугольного отверстия до и после отбортовки.

Раздача (растяжка) — процесс увеличения диаметра предварительно вытянутой или трубчатой заготовки продавливанием конического пуансона (рис. 7.19, в) или внутренним гидростатическим давлением. Степень деформации при раздаче характеризуется коэффициентом раздачи:

$$k_p = R_K/r, \quad (7.31)$$

где R_K и r — радиусы детали и заготовки.

Допустимое за одну операцию увеличение диаметра заготовки ограничивается в одних случаях предельной тангенциальной деформацией, при которой материал разрушается, а в других — потерей устойчивости недеформируемой части заготовки, когда приложенное к пуансону усилие превышает критическое значение. Средние значения предельного коэффициента раздачи $k_{p.пр}$ заготовок с относительной толщиной стенки $\frac{\delta}{2r} \cdot 100 = 3,5 \dots 14$ коническим пуансоном ($2\alpha = 40^\circ$) равны 1,4 ... 1,6. При раздаче заготовок гидравлическим давлением или давлением резины значения $k_{p.пр} = 1,1 \dots 1,2$ или 1,2 ... 1,3. Толщина стенки после раздачи определяется по формуле

$$\delta_K = \delta/k_p. \quad (7.32)$$

Обжим — процесс сужения поперечного сечения краевой части трубчатых и полых заготовок (рис. 7.19, г) конической матрицей. При некоторой величине усилия обжима свободный участок полый заготовки теряет устойчивость. Если вследствие потери устойчивости за одну операцию обжима нельзя получить заданное уменьшение диаметра заготовки, то применяют повторные операции с предварительным разупрочнением деформируемого участка путем местного нагрева. Критерием для этого служит коэффициент обжима, равный отношению диаметра заготовки к диаметру в обжатой ее части, т. е.

$$k_{об} = D/d = R/R_K. \quad (7.33)$$

Средние значения предельного коэффициента обжима $k_{об.пр}$ составляют в зависимости от величины отношения $(\delta/D) \cdot 100 = 1,5 \dots 15$ для стальных полых заготовок 1,15 ... 1,40, а латунных и алюминиевых — 1,25 ... 1,55. Усилие обжима, соответствующее $k_{об.пр}$, определяют по формуле

$$P_{об.макс} = 2\pi R\delta\sigma_T, \quad (7.34)$$

где σ_T — предел текучести.

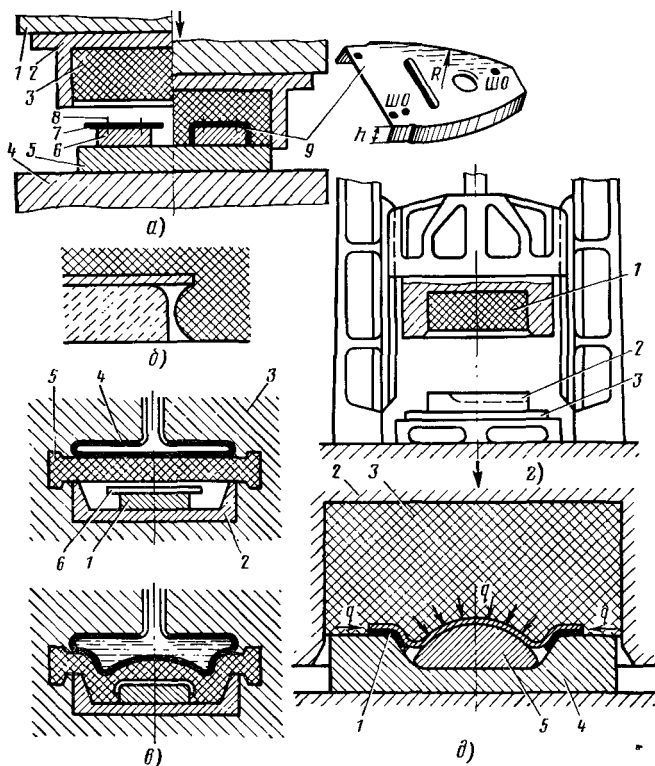


Рис. 7.20. Схемы процессов формовки резиной:

a — формовка на плунжерном гидравлическом прессе; 1 — подвижная траверса; 2 — контейнер; 3 — резина; 4 — стол пресса; 5 — выдвижная подштамповая плита; 6 — формблок; 7 — заготовка детали; 8 — шпилька формблока для фиксирования заготовки; 9 — отформованная деталь; ПШО — шпильчное отверстие; б — затекание резины под борт высокой жесткости; *в* — формовка на гидравлическом прессе прямого действия; 1 — формблок; 2 — выдвижной корытообразный стол; 3 — корпус пресса; 4 — резиновая камера; 5 — резиновая подушка; 6 — заготовка; *г* — формовка резиной на листоштамповочном молоте; 1 — резиновая подушка; 2 — матрица; пуансон или формблок; 3 — центрирующая плита; *д* — первый переход (операция) реверсивной вытяжки; 1 — слой смазки; 2 — контейнер; 3 — резиновая подушка; 4 — матрица; 5 — сменный вкладыш

При обжиме с нагревом деформируемого участка заготовки значение $k_{об.пр}$ увеличивается примерно до 10. Ограничением степени деформации в этом случае является волнообразное выпучивание стенки деформируемого участка под действием тангенциальных напряжений сжатия. Наибольшую толщину стенки (δ_k) обжатой части заготовки определяют по формуле

$$\delta_k = \delta \sqrt{k_{об.пр}} \quad (7.35)$$

Формовка резиной (рис. 7.20) — наиболее распространенный в самолетостроении метод изготовления плоских деталей с бортами (типа первюр). Формообразование этих деталей осуществляется за счет изгиба, растяжения и посадки (сжатия). Обычно давление резины при формовке деталей на плунжерных гидравли-

ческих прессах с усилием 24,5 ... 49,0 МН (2500 ... 5000 тс) составляет 7,8—10,8 МПа (80 ... 110 кгс/см²).

Достоинства процесса заключаются в высокой производительности (за один ход пресса формируют одновременно несколько различных деталей), простоте оснастки и обслуживания. В качестве сменной формовочной оснастки используются формблоки, изготовленные чаще всего из балинита. Роль второй части штампа (матрицы или пуансона) выполняет заключенная в контейнер резина твердостью 65 ... 80 единиц по ИСО. При установке на подштамповой плите минимальное расстояние между формблоками принимают равным примерно двум толщинам последних.

К недостаткам следует отнести невозможность проработки мелких рельефов и малый допустимый предел отношения высоты борта h к радиусу кривизны детали в плане R . Например, для листовых материалов толщиной 0,8 ... 1,2 мм из алюминиевых сплавов без доводки борта детали после формовки $h/R \leq 0,03$... 0,05, а с доработкой (посадка образовавшихся гофров) — $h/r \leq 0,10$... 0,25.

Наименьшая высота борта, которую можно получить формовкой, для деталей из алюминиевых сплавов (5 ... 8) δ , а из титана и его сплавов — (12 ... 18) δ . При меньшей высоте резина затекает под борт (рис. 7.20, б) и препятствует формообразованию детали.

При использовании диафрагменного гидравлического пресса прямого действия (рис. 7.20, в), обеспечивающего давление резины при формовке 39,2 МПа (400 кгс/см²), повышается точность и сокращается трудоемкость доводочных работ при изготовлении деталей.

Формовку деталей резиной осуществляют также на листоштамповочных молотах (рис. 7.20, г). Используя энергию удара, можно развить со стороны резины достаточно высокие давления. Кратковременность контакта с деформируемым материалом создает благоприятные условия для формоизменения резиной нагретых заготовок.

Технологические возможности процесса могут быть расширены применением метода реверсивной вытяжки детали за два перехода или две операции (рис. 7.20, д). Сначала оформляется глубокий рифт по периметру обвода формируемой детали, а затем сменный вкладыш 5 удаляется из матрицы 4 и полученный полуфабрикат выворачивается и калибруется до окончательных размеров. Реверсивную вытяжку резиной производят также в двух различных матрицах (первая матрица выполняется с вкладышем как одно целое).

Выдавливание без утонения заготовки

Процесс выдавливания без утонения (рис. 7.21, а) заключается в местном пластическом изгибе вращающейся заготовки давилником, который вручную или механически перемещается в плоскости оси вращения оправки. Изгиб распространяется по винтовой линии и заготовка принимает форму оправки. Поверхность деталей обычно носит следы давилника и соответствует 6-му классу шероховатости. Точность деталей находится в пределах 0,001 ... 0,002 их диаметра. Степень деформации характеризуется коэффициентом выдавливания $k_v = D_0/d$, т. е. отношением диаметра заготовки к диаметру изготавливаемой детали. В зависимости от марки материала, относительной толщины заготовки и опыта давилщика предельное значение $k_{v.пр}$ за первую операцию выдавливания приближенно составляет 2 ... 2,5. Если требуемая деталь не может быть получена в одну операцию, выдавливание производят с промежуточной разупрочняющей термообработкой за несколько последовательных операций на разных оправках, но при одном и том же их наименьшем диаметре (рис. 7.21, б).

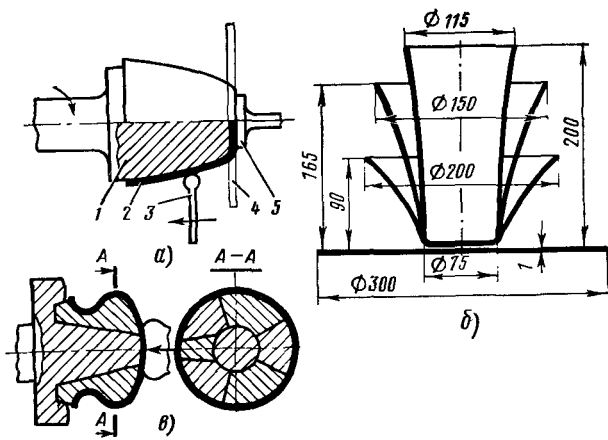


Рис. 7.21. Выдавливание без утонения заготовки:

а — схема процесса; 1 — оправка, закрепленная на планшайбе станка; 2 — деталь; 3 — давяльник; 4 — заготовка; 5 — вращающийся прижим, установленный в линоли задней бабки станка; *б* — пример формообразования деталл за несколько последовательных операций выдавливания; *в* — выдавливание детали сложной формы при помощи разъемной оправки

Выдавливанием без утонения могут быть получены различные полые детали, представляющие собой тела вращения весьма сложной формы (рис. 7.21, *в*). Однако этот процесс недостаточно изучен. Его технологические возможности и качество получаемых деталей в значительной мере зависят от мастерства давяльщика. Поэтому метод выдавливания без утонения находит применение лишь в условиях опытного и мелкосерийного производства. Выдавливание без утонения осуществляют на простейших токарно-давяльных станках с ручной подачей давяльника (при изготовлении деталей из тонкого листового материала) и горизонтально-давяльном копировальном станке.

Формование деталей с использованием энергии взрыва, высоковольтного разряда и импульсного электромагнитного поля

Изготовление различной формы оболочек значительных размеров сопряжено с необходимостью использования крупногабаритного уникального оборудования большой мощности. Членение детали на элементы, изготовление которых возможно на обычном оборудовании, последующая их сварка и ручная доводка удорожают изделия и снижают их качество. Изготовление деталей из некоторых высокопрочных и жаропрочных листовых материалов обычными методами обработки металлов давлением весьма затруднительно, а иногда и невозможно. В связи с этим представляет определенный интерес использование для формообразования деталей энергии взрыва, высоковольтного разряда в жидкости и импульсного электромагнитного поля. Этим методам формования присуще выделение большой энергии в чрезвычайно малые промежутки времени. Возникающие при больших скоростях деформирования инерционные силы существенно изменяют напряженно-

деформированное состояние заготовки, что позволяет получать не только детали сложной формы и больших размеров из сварных листовых заготовок, но также детали из труднодеформируемых металлов и сплавов.

Применяемые энергетические установки относительно универсальны, недороги и несложны, что при частой смене объекта производства имеет важное значение.

Формование с использованием энергии взрывчатых веществ (бризантного действия, порохов или газовых смесей) может осуществляться с передачей кинетической энергии взрыва на заготовку непосредственно, через поршень или передаточную среду (воздух, воду, песок и др.). Формование с использованием бризантных взрывчатых веществ и воды в качестве передаточной среды, позволяющее изготавливать как небольшие детали сложной формы, так и крупногабаритные детали, является наиболее универсальным методом благодаря простоте оборудования и возможности создания давлений любой величины. Например, при взрыве 1 кг взрывчатого вещества может быть получено усилие около 98,1 МН (10 000 тс). Массу сферической формы тротилового заряда W^* в кг [49], потребного для формообразования детали, и уровень воды H в см над заготовкой определяют по формулам

$$W^* = \lambda (a\delta R^{1,8})^{0,8}, \quad (7.36)$$

$$H = 77,5 \sqrt{RW^*}, \quad (7.37)$$

где λ — коэффициент, зависящий от плотности передаточной среды и деформируемого материала. Когда в качестве передаточной среды используется вода, коэффициент λ для сталей, титановых и алюминиевых сплавов соответственно равен $0,25 \cdot 10^{-4}$, $0,16 \cdot 10^{-4}$ и $0,11 \cdot 10^{-4}$; $a = A_1/F^*$ — энергия формообразования, приходящаяся на единицу смачиваемой поверхности, кгс·см/см²; A_1 — полная энергия, затрачиваемая на формоизменение заготовки, кгс·см; F^* — площадь поверхности заготовки, смачиваемой водой, см²; δ — толщина заготовки, см; $R = (0,8 \dots 2) D_0$ — расстояние от центра заряда до заготовки диаметром D_0 , см.

Приблизительно значение удельной энергии, потребной для формования цилиндрической детали диаметром d с диаметром фланца D_Φ и сферическим или эллиптическим дном со стрелой прогиба f_1 , находят из выражения

$$a = 1,95\sigma_B \delta \left[3(k^2 - 1) \left(\frac{k - k_\Phi}{k - 1} \lg k \right)^{1,2} + \frac{2f_1}{d} \right]^{2,4}, \quad (7.38)$$

где σ_B — предел прочности материала заготовки, кгс/см²;

$$k = D_0/d; \quad k_\Phi = D_\Phi/d.$$

Если дно плоское, то в выражении (7.38) принимают $f_1 = 0$. Для изготовления оболочек применяются установки бассейнового (рис. 7.22, а) и наземного типа, состоящие из резервуара с водой, насосной станции (заполнение резервуара и откачивание из него воды, отсос воздуха из рабочей полости матрицы) и подъемно-транспортных средств (загрузка и транспортировка оснастки). Матрицы изготавливают из стали, чугуна, цветных сплавов или железобетона с облицовкой оксидной композицией. У матриц из цинка и алюминиевых сплавов верхнюю плоскость вместе с вытяжной кромкой выполняют из стальной плиты.

Электродинамический метод формования (рис. 7.22, б) основан на использовании для деформирования заготовки давления ударной волны, которая образуется при искровом разряде вследствие перехода части жидкости в состояние «плазмы» с мгновенным увеличением начального объема в тысячи раз. При пробое межэлектродного промежутка возникает явление, имеющее характер взрыва. Ударная волна из зоны заряда перемещается со сверхзвуковой скоростью. Введение в межэлектродный зазор проволоки-перемычки облегчает пробой последнего, позволяет значительно увеличить зазор между электродами, изменять форму

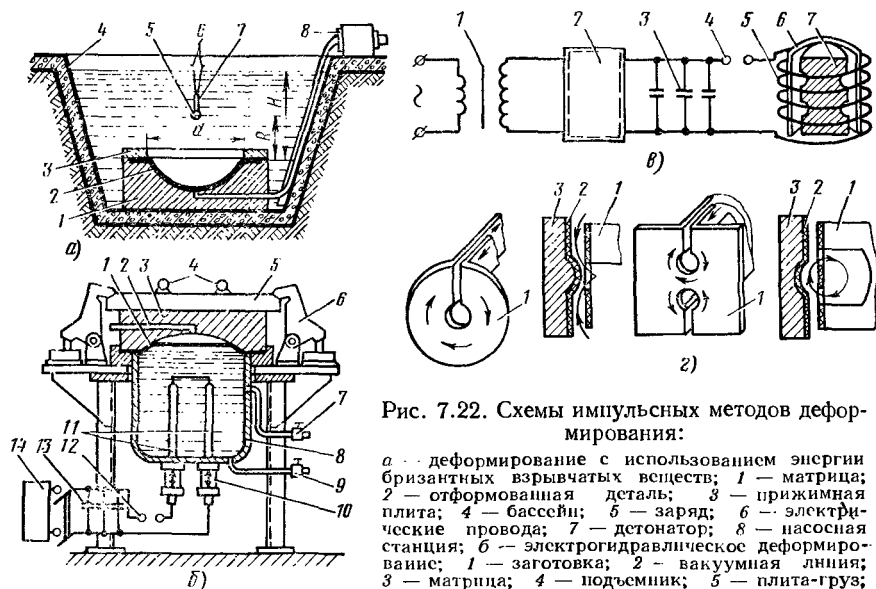


Рис. 7.22. Схемы импульсных методов деформирования:

а — деформирование с использованием энергии бризантных взрывчатых веществ; 1 — матрица; 2 — отформованная деталь; 3 — прижимная плита; 4 — бассейн; 5 — заряд; 6 — электрические провода; 7 — детонатор; 8 — насосная станция; 9 — электрогидравлическое деформирование; 1 — заготовка; 2 — вакуумная линия; 3 — матрица; 4 — подъемник; 5 — плита-груз; 6 — пневмозамок; 7 — заливной кран; 8 — резервуар с водой; 9 — сливной кран; 10 — механизм регулирования положения электродов; 11 — электроды; 12 — разрядник; 13 — конденсаторная батарея; 14 — источник питания высокого напряжения; *б* — деформирование импульсным электромагнитным полем многовиткового индуктора; 1 — высоковольтный трансформатор; 2 — выпрямитель; 3 — конденсаторная батарея; 4 — шаровой разрядник или ношный управляемый вентиль; 5 — обмотка индуктора; 6 — заготовка; 7 — разъемная оправка; 8 — деформирование плоскими индукторами; 1 — индуктор; 2 — заготовка; 3 — оправка

и направление ударной волны, а также использовать в качестве передаточной среды диэлектрические жидкости. Основным недостатком применения проволоки-перемычки является необходимость ее замены после каждого импульса. На деформацию существенное влияние оказывают напряжение разряда, индуктивность цепи, расстояние между электродами, диаметр и длина проволоки-перемычки и расстояние от нее до заготовки. Конфигурация перемычки может способствовать как увеличению, так и локализации зоны деформации. Недостатком этого метода является относительно малое по сравнению с формованием взрывом количество энергии, которое можно практически аккумулировать для разрядки за один импульс.

Форму заготовок из труднодеформирующихся материалов изменяют несколькими последовательными разрядами. К многократным разрядам прибегают и в тех случаях, когда недостаточна мощность установки. При этом по мере упрочнения материала заготовки в процессе деформирования энергию разряда увеличивают. При многократных разрядах без перемычки передаточная среда загрязняется отрываемыми от электродов частицами и становится достаточно проводящей, что увеличивает потери энергии. Вследствие удара частиц электрода о заготовку деталь получается с дефектами на поверхности. Установки для электрогидравлического формования безопасны и могут применяться для изготовления деталей в обычных заводских помещениях или даже в поточных линиях.

Формование импульсным электромагнитным полем (рис. 7.22, б) может применяться для изготовления деталей из материалов, электропроводность которых регламентирована; в противном случае поверхность заготовки необходимо омеднить или покрывать тонким листовым алюминием.

При пробое разрядника запасенная в конденсаторах электрическая энергия в виде импульса тока проходит через обмотку индуктора. Возникшее вокруг

токонесущих проводников электромагнитное поле возбуждает в заготовке вихревые токи, которые образуют вокруг последней также магнитное поле. В результате взаимодействия импульсных магнитных полей происходит динамическое воздействие (в виде давления) на заготовку и ее деформирование. Изменением длительности импульса (6 ... 50 мкс) можно в широких пределах регулировать силовое и тепловое воздействие на деформируемую заготовку. При обработке малопластичных металлов это может стать решающим фактором, так как в данном случае отпадает необходимость в дополнительных сложных нагревательных устройствах, обязательных при других импульсных способах деформирования.

Индукторы работают под высоким электрическим напряжением и испытывают большую механическую нагрузку вследствие сил реакции от взаимодействия с деформируемой заготовкой и осевых сил взаимодействия между витками. Условиями работоспособности изоляции ограничиваются максимальное напряжение цепи (10 кВ) и развиваемые в установке усилия. Индукторы многократного использования выполняют из провода прямоугольного сечения с изоляцией повышенной прочности, а одноразовые рассчитывают только на один импульс тока, в результате действия которого они разрушаются («взрываются»).

Метод формирования электромагнитным импульсом позволяет деформировать заготовки, находящиеся в вакууме или внутри других, особенно керамических и им подобных хрупких деталей, может использоваться для обжатия и раздачи трубчатых заготовок и изготовления деталей из плоских заготовок. В последнем случае индуктор выполняют в виде плоской спирали (рис. 7.22, з). Для снижения давления на одних участках и повышения его на других индукторы снабжают концентраторами магнитного поля.

Этот метод деформирования наиболее целесообразен при изготовлении и сборке сравнительно небольших деталей (из трубчатых и плоских заготовок толщиной 1,5 и 2,5 мм и диаметром около 200 и 400 мм соответственно) и особенно в тех случаях, когда желательно повторное приложение нагрузки.

Формовочную оснастку изготавливают из неэлектропроводных или с низкой электропроводностью материалов.

§ 2. ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Объемная штамповка является наиболее сложным способом формообразования деталей, при котором металл в результате возникновения объемно-напряженного состояния перемещается значительными массами в различных направлениях. Для таких перемещений необходимы большие усилия, вследствие чего детали, изготавливаемые этим методом, как правило, имеют ограниченные габаритные размеры. Вместе с тем такие процессы объемной штамповки, как выдавливание с утонением заготовки, редуцирование, прессование и другие, позволяют изготавливать детали самых разнообразных конфигураций с высокой точностью и чистотой поверхности, малой трудоемкостью и высоким коэффициентом использования металла при одновременном улучшении его механических свойств, что в ряде случаев имеет решающее значение.

Успехи, достигнутые в создании отечественных конструкций мощных гидравлических и механических прессов, давильных и раскатных станков, открывают широкие перспективы для использования методов объемной штамповки при изготовлении деталей самолетов.

Выдавливание с утонением заготовки

Выдавливание с утонением — процесс формообразования детали за счет уменьшения исходной толщины вращающейся плоской или пространственной заготовки без изменения ее наружного диаметра (рис. 7.23, а). Это возможно при условии, если толщина стенки детали δ и толщина заготовки δ_0 связаны между собой зависимостью

$$\delta = \delta_0 \sin \alpha, \quad (7.39)$$

где α — угол между осью оправки и образующей конической поверхности (или между осью и касательной к поверхности оправки в рассматриваемом сечении для неконических поверхностей).

Несоблюдение условия (7.39) приводит к разрушению заготовки. Поэтому координатная система, жесткость формообразующей оснастки и станка должны позволять с высокой точностью выдерживать установленный зазор (постоянный или закономерно изменяющийся) между оправкой и деформирующим роликом (роликами) в течение всего процесса выдавливания. Этому способствует также отсутствие биения заготовки, рабочих поверхностей ролика и оправки относительно их осей вращения. Из схемы, приведенной на рис. 7.23, а, видно, что исходная толщина материала как бы смещается параллельно оси, а любой участок заготовки, расположенный на расстоянии y от оси, остается на таком же расстоянии от оси в готовой детали. Толщина детали вдоль оси («косевая толщина») в рассматриваемом сечении остается неизмен-

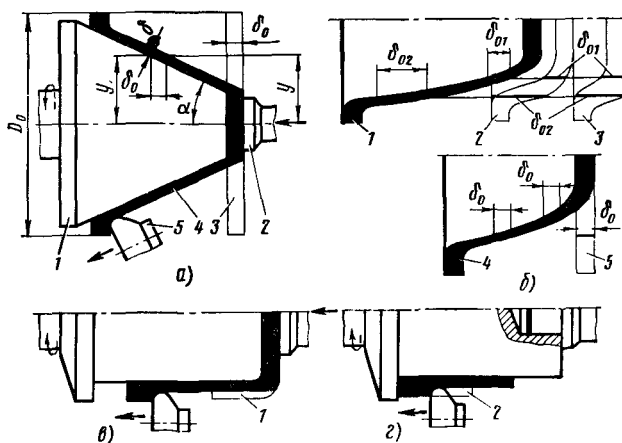


Рис. 7.23. Выдавливание с утонением заготовки:

а — схема выдавливания конической детали с постоянной толщиной стенки из плоской заготовки; 1 — оправка; 2 — вращающийся прижим; 3 — заготовка; 4 — деталь; 5 — ролик; б — детали, получаемые выдавливанием; 1 — деталь с постоянной толщиной стенки из заготовок 2 и 3 переменной осевой толщины δ_{01} , δ_{02} , ..., полученных соответственно вытяжкой и обработкой резанием; 4 — деталь с переменной толщиной стенки из листовой заготовки 5 толщиной δ_0 ; в и г — схемы прямого и обратного выдавливания цилиндрических деталей; 1 — заготовка, полученная вытяжкой; 2 — трубчатая заготовка

ной, равной толщине заготовки в том же сечении. Степень деформации при выдавливании с утонением характеризуется выражением

$$\varepsilon = \frac{\delta_0 - \delta}{\delta_0} = 1 - \sin \alpha \quad (7.40)$$

и за одну операцию не должна превышать 50 ... 75 % (в зависимости от материала заготовки).

Выдавливанием с утонением заготовки (окружная скорость до 300 м/мин, подача — 0,02 ... 2 мм/об) могут быть получены осесимметричные полые детали с постоянной и переменной толщиной стенки (рис. 7.23, б) и углом α не менее 6 ... 15°. В качестве заготовок используют листовой материал, штамповки, отливки и заготовки, полученные обработкой резанием.

Цилиндрические детали выдавливают из цилиндрических заготовок меньшей длины, но большей толщины, при неизменном внутреннем диаметре *прямым и обратным способами* (рис. 7.23, в, г). Длину заготовки и толщину ее стенок определяют из условия равенства объемов заготовки и детали. Сварные цилиндрические заготовки перед выдавливанием подвергают правке «раздачей» или обработке резанием, так как разнотолщинность стенок приводит к асимметричному напряженно-деформированному состоянию заготовки в процессе утонения и последующему искривлению оси или торца детали.

Цилиндрические детали обычно выдавливают за несколько проходов одного или более деформирующих роликов. Предельное суммарное утонение за одну операцию зависит главным образом от упрочнения материала. После двух или трех проходов необходимо производить разупрочняющую термическую обработку.

Методом выдавливания с утонением заготовки на станках относительно небольшой мощности по сравнению с прессовым оборудованием изготавливают детали (с точностью $\pm 0,05$ мм по толщине стенки и шероховатостью поверхности 7 ... 9-го класса) не только из цветных, но и из высокопрочных, а также труднодеформируемых металлов и сплавов. При этом коэффициент использования материала достигает 95 %. Детали из титановых, молибденовых, вольфрамовых и циркониевых сплавов изготавливают из нагретых заготовок.

На горизонтально-давальном копировальном станке типа СДГ можно получать оболочки конической, оживальной и цилиндрической формы с длиной и диаметром до 1200 мм. Горизонтально-раскатный станок типа СРГ предназначен для изготовления бесшовных тонкостенных цилиндрических оболочек (гладких и с наружными ребрами) диаметром до 1200 мм и длиной до 3000 мм.

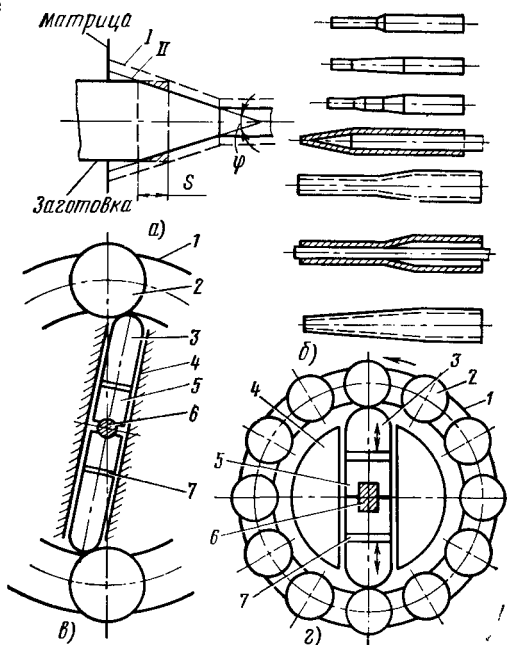
Хорошие результаты при изготовлении крупногабаритных тонкостенных оболочек дает комбинирование методов формования взрывом и выдавливания с утонением, выдавливания с утонением и глубокой вытяжки.

Редуцирование

Редуцирование — процесс изменения формы заготовки путем последовательного обжатия ее разъемной матрицей (рис. 7.24, а). Редуцированием как с применением оправок, так и без них получают из труб детали с различной конусностью по наружному и внутреннему диаметру с частично или полностью закрытыми концами

Рис. 7.24. Формообразование деталей редуцированием:

a — изменение формы заготовки при редуцировании; *I* и *II* — начальное и конечное положения матрицы; *S* — величина подачи заготовки; $\varphi = 11 \dots 20^\circ$ — угол конуса матрицы; *б* — типовые детали, получаемые редуцированием; *в* и *г* — схемы действия редуциционных станков для получения деталей круглого и прямоугольного сечений; *1* — обойма; *2* — ролик; *3* — боек; *4* — шпиндель с направляющей бойков и половинки матрицы; *5* — половинка матрицы; *6* — заготовка; *7* — прокладка



(рис. 7.24, б). Если не требуется высокая точность внутренних размеров, то полые заготовки редуцируются без оправок. Особенно целесообразен этот метод в условиях массового и крупносерийного производства для изготовления полых цилиндрических деталей значительной длины из коротких заготовок, а также длинных деталей с малыми диаметрами (1 ... 10 мм).

Элементы заготовки в зоне деформации испытывают в процессе редуцирования всестороннее сжатие; наибольшей деформации и упрочнению подвергаются внутренние слои заготовки. Отредуцированная при обильной смазке машинным маслом заготовка имеет гладкую полированную и строго цилиндрическую (в пределах 2-го класса точности) поверхность.

Редуцирование осуществляется на специальных станках, схема действия которых приведена на рис. 7.24, в. При вращении шпинделя станка половинки матрицы *5* под действием центробежной силы и давления бойков *3* в момент набегания их на ролики *2*, установленные в обойме *1*, совершают возвратно-поступательное движение. Когда матрица разжата, заготовка *6* перемещается в продольном направлении на величину подачи *S* (0,07 ... 0,3 мм). Во время сближения половинки матрицы заготовка деформируется. Заготовка при этом не подается. Деформирование заготовки на редуциционных станках осуществляется давлением, а не ударом. Среднее число обжатий заготовки за один оборот шпинделя — 10 ... 12. В процессе редуцирования заготовка может находиться как в свободном, так и в закреплённом состоянии. При больших степенях деформации заготовку обычно закрепляют в специальном приспособлении, в связи с чем она несколько скручивается.

При изготовлении деталей с прямоугольным, треугольным и другим профилем в сечении головка вместе с обоймой получает вращательное движение, а шпиндель остается неподвижным. Бойки с половинками матрицы перемещаются лишь возвратно-поступательно вдоль паза шпинделя (рис. 7.24, г).

Для обжатия концов труб диаметром до 40 ... 45 мм и толщиной стенки до 2 ... 4 мм из 30ХГСА и Д1, Д16 применяют редуциционный станок.

Осадка, высадка, калибровка, объемная формовка, холодное прессование

Для процессов осадки, высадки, калибровки, объемной формовки, холодного прессования характерно трехосное сжатие заготовки при ее формоизменении. Формообразование детали осуществляется вследствие перераспределения и заданного перемещения металла в рабочей полости штампа под действием давления, в несколько раз превышающего предел текучести деформируемого материала. Полученные детали отличаются повышенной точностью и чистотой поверхности. Материал деталей в результате холодной деформации значительно упрочняется.

Сущность процессов *осадки* (обжатие заготовки между двумя плитами со свободным перемещением основной массы металла в стороны), *высадки* (получение местных утолщений перераспределением объема материала заготовки), *калибровки* (обжатие до заданного размера части или всей заготовки между рабочими полостями штампа) ясна из рис. 7.25, а ... ж. Давление, необходимое для осуществления этих процессов, составляет по величине (2,5 ... 5) σ_B .

Объемная формовка является разновидностью осадки, но отличается от нее тем, что формоизменение заготовки происходит в полости штампа, закрытой полностью или частично. В соответствии с этим различают открытую формовку (рис. 7.25, з) с выходом излишка металла в заусенец и закрытую (рис. 7.25, и), при

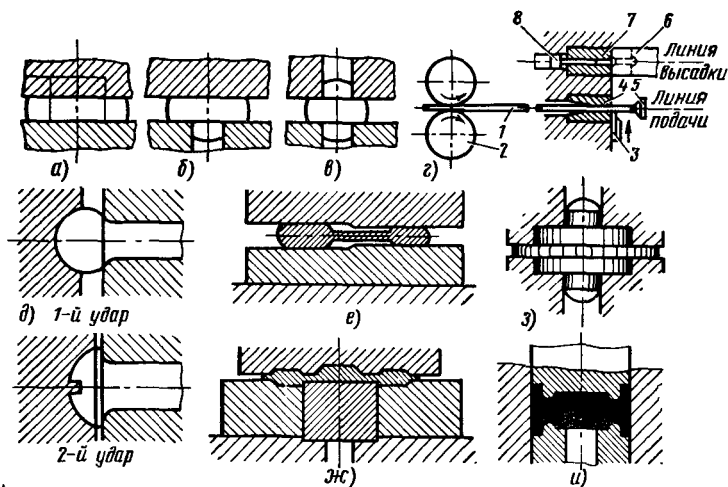


Рис. 7.25. Схемы процессов объемной штамповки:

а, б, в — осадка между плоскими плитами, с истечением в одну и две полости; г — высадка головки заклепки на одноударном автомате; 1 — проролка или прут; 2 — подающие ролики; 3 — нож; 4 — отрезная матрица; 5 — упор; 6 — пуансон; 7 — матрица; 8 — выталкиватель; д — высадка винтов со шлицами на двухударном автомате; е, ж — плоскостная и объемная калибровка; з, и — открытая и закрытая объемная формовка

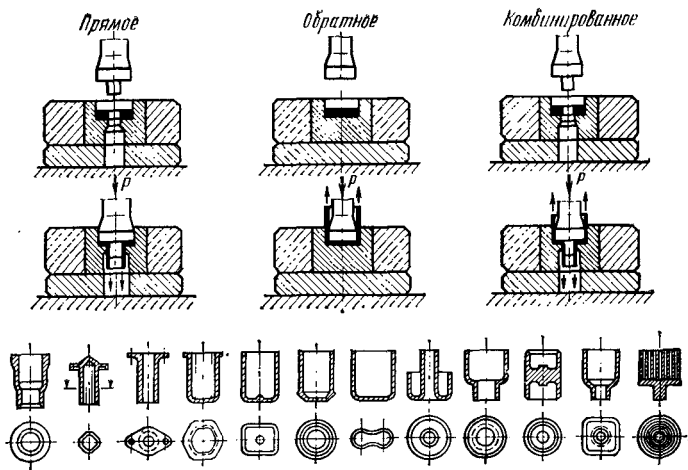


Рис. 7.26. Схемы прямого, обратного, комбинированного холодного прессования и типовые формы деталей, изготавливаемые этими методами

которой весь объем металла заготовки идет на образование детали. Форма и размеры заготовки должны быть такими, чтобы деформация в каждом сечении была наименьшей, условия течения металла в штампе были оптимальными и все элементы детали оформлены четко. Этот процесс требует больших давлений и высококачественного изготовления штампов. К числу преимуществ закрытой формовки следует отнести большие возможности формообразования и повышенную точность деталей.

Холодное прессование (ударное или холодное выдавливание) — процесс формообразования полой детали путем вытеснения металла заготовки пуансоном в открытые полости штампа. Холодное прессование подразделяют на *прямое, обратное и комбинированное* (рис. 7.26) в зависимости от того, совпадает ли направление истечения металла с перемещением пуансона, противоположно ему или происходит одновременно в различных направлениях. Возможно также радиальное прессование, при котором направление истечения металла перпендикулярно направлению деформирующего усилия P .

Холодное прессование применяют для деталей разнообразных форм (см. рис. 7.26) из пластичных материалов — алюминиевых и медных сплавов, а также сталей 10,35 и др. Обычная (экономически целесообразная) точность изготовления деталей в пределах 9...11 квалитетов, а шероховатость поверхности — $Ra\ 2,5 \dots Ra\ 0,63$.

Степень деформации (в процентах) при холодном прессовании характеризуется выражением

$$\Psi_{II} = \frac{F - f_2}{F} \cdot 100,$$

где F и f_2 — площади заготовки и поперечного сечения детали. Допустимая степень деформации за одну операцию 75 ... 95 %, что позволяет получать детали с наименьшей толщиной стенок 0,3 ... 0,7 мм и высотой до $6d$ (d — внутренний диаметр детали) обратным и до $40d$ — прямым прессованием.

С увеличением ψ_{II} растут и давления прессования, достигая (5 ... 10) σ_B . Это ограничивает возможности формообразования деталей и их габаритные размеры, так как при таком высоком давлении прочность и стойкость рабочих частей штампа оказывается недостаточной для нормальной эксплуатации.

Холодным прессованием детали могут изготавливаться как на гидравлических, так и на более производительных механических прессах. Станина прессы при этом должна обладать максимальной жесткостью и обеспечивать прямолинейное перемещение ползуна на всей длине его хода без люфтов.

Накатывание резьбы

Накатывание резьбы — процесс пластического деформирования заготовки специальным инструментом, на котором воспроизведен профиль резьбы. Различают два способа накатывания: плоскими плашками и роликами (рис. 7.27). Плоскими плашками накатывают крепежные резьбы диаметром 3 ... 24 мм и длиной до 125 мм с точностью 7 ... 9-го квалитетов и шероховатостью резьбовой поверхности $Ra 2,5$... $Ra 1,25$. Вследствие значительного усилия, действующего на заготовку в процессе деформирования, исключается возможность накатывания резьб на полых деталях. Роликами можно накатывать резьбу и на полых деталях из материала с $\sigma_B \leq 1080$ МПа (110 кгс/мм²). Точность накатывания резьбы роликами — 7 ... 5 квалитеты, шероховатость — $Ra 0,63$... $Ra 0,32$. Резьбу диаметром до 100 мм накатывают на специальных станках роликами в упор, если длина резьбовой поверхности детали менее 150 мм, и на проход при длине более 150 мм. Накатывают резьбу также и на станках токарной группы, используя несложные по конструкции державки с тремя роликами.

Обычная предварительная обработка перед накатыванием резьбы — чистовое обтачивание или шлифование. Наиболее пригодны для накатывания резьб материалы с относительным удлинением более 10 ... 12 %. Стойкость плашек и роликов при накатывании резьб на деталях из стали средней твердости составляет 30 ... 50 тыс. деталей. Накатывание резьб с использованием специальных станков широко применяется в крупносерийном и массовом производстве, где высокая стоимость инструмента — плашек и роликов — окупается большой производительностью процесса.

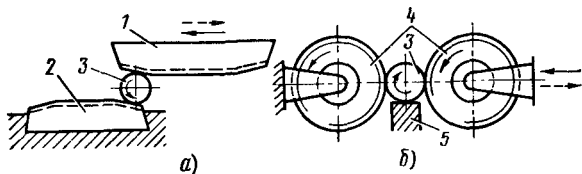


Рис. 7.27. Схемы накатывания резьбы плоскими плашками (а) и роликами (б):

1 — подвижная плашка; 2 — неподвижная плашка; 3 — деталь; 4 — ролики; 5 — опорная (направляющая) планка

§ 3. ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

Основным назначением процессов деформирования поверхностных слоев является повышение усталостной прочности, а в ряде случаев — чистоты поверхностей и точности размеров деталей. В результате пластической деформации поверхностных слоев изменяются не только размеры заготовки, шероховатость поверхности, но и физико-механические свойства периферийного слоя металла с образованием в нем остаточных напряжений (в основном сжимающих). Наиболее существенным изменением является упрочнение, повышающее твердость, износостойкость, предел упругости, текучести и прочности с одновременным снижением показателей пластичности, а также повышение усталостной прочности. Сочетание малой по высоте шероховатости с упрочнением поверхностного слоя обеспечивает высокие эксплуатационные свойства деталей, особенно при циклических нагрузках.

Небольшие деформирующие усилия уменьшают лишь шероховатость, не изменяя существенно физико-механических свойств поверхностного слоя металла. Возможность уменьшения высоты неровностей в 20 ... 40 раз за один проход и достижения на мягких сталях и цветных металлах шероховатости поверхности менее $Ra\ 0,16$ с сохранением исходной геометрической формы заготовки делают чистовую обработку давлением во многих случаях более производительной, чем резцовую и абразивную.

Для уменьшения шероховатости и упрочнения поверхностных слоев деталей деформированием более широко применяются процессы обкатывания роликами и шариками, дорнирования, обжатия кромок отверстий, виброударной обработки и обработки дробью. Простота конструкции применяемого инструмента и отладки самого процесса, а также его надежность позволяет осуществлять обработку путем деформирования поверхностных слоев практически в условиях любого типа производства.

Обкатывание и раскатывание роликами и шариками

Обкатывание роликовыми и шариковыми обкатниками упругого действия (рис. 7.28, *a—г*) применяется для уменьшения шероховатости и упрочнения деталей с относительно правильными формами поверхностей. Обкатывание наружных поверхностей вращения целесообразно на станках токарной группы, внутренних — на револьверных или сверлильных, а плоских — на фрезерных или строгальных.

Обкатывание повышает не только прочность при динамических нагрузках, но также износостойкость и коррозионную стойкость таких деталей, как стойки шасси, оси колес, барабаны колес из магниевых сплавов и т. п. При этом точность размеров деталей будет зависеть главным образом от их точности до обкатывания, давления деформирующего инструмента, исходной шероховатости

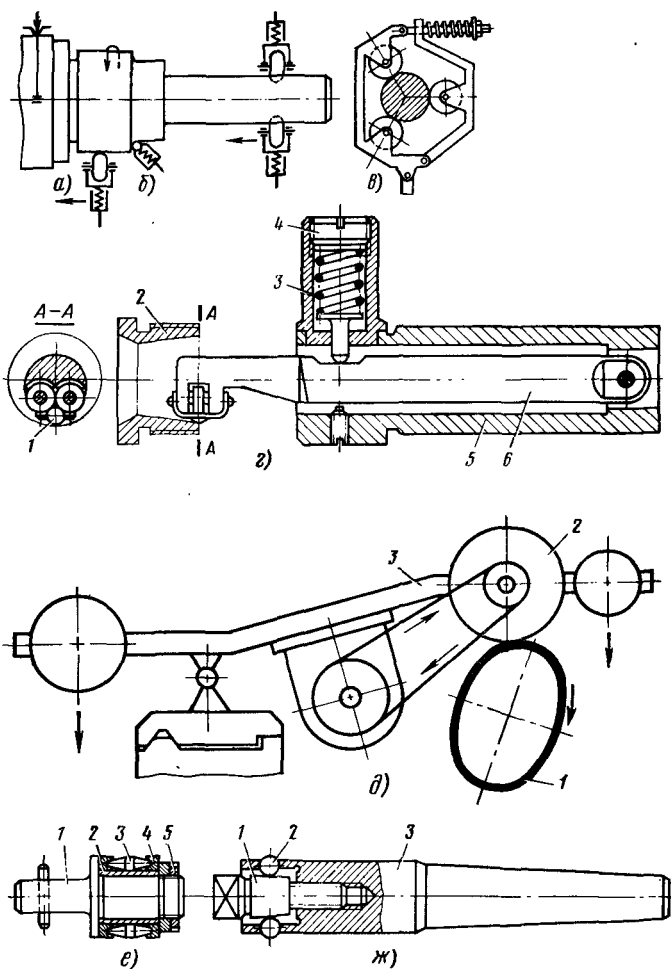


Рис. 7.28. Схемы процесса обкатывания и раскатывания поверхностей вращения:
а, б и в — схема обкатывания наружных поверхностей вращения однорольковыми, шариковыми и трехроликными обкатниками упругого действия; *г* — шариковый раскатник упругого действия; *1* — шарик; *2* — обрабатываемая заготовка; *3* — тарированная пружина; *4* — регулировочный винт; *5* — корпус, *6* — оправка; *д* — схема обкатывания наружной поверхности нецилиндрической формы; *1* — деталь; *2* — шариковый обкатник; *3* — самоустанавливающаяся каретка; *е* — нерегулируемый роликовый раскатник; *1* — оправка; *2* — втулка; *3* — ролик; *4* — обойма со сферическими гисздами; *5* — контргайка; *ж* — упрощенная конструкция жесткого регулируемого шарикового раскатника; *1* — регулировочный винт с закаленной опорной конусной рабочей частью, положение которого фиксируется не показанным на чертеже стопорным винтом; *2* — шарик; *3* — корпус

и прочности поверхностного слоя. Глубина слоя с остаточной деформацией в зависимости от этих параметров колеблется в пределах 0,01 ... 0,05 мм и выше. Упрочнение поверхностного слоя от скорости обкатывания мало зависит. В большей степени оно зависит от числа проходов. Обкатывание производят со скоростью 30 ... 150 м/мин и подачей 0,1 ... 0,2 мм/об с применением обильной смазки для уменьшения шероховатости обрабатываемых деформированием поверхностей вращения.

Поверхности деталей большой жесткости обкатываются однорольковым приспособлением (рис. 7.28, а), а в других случаях — трехрольковыми обкатниками (рис. 7.28, в). При обкатывании переходных и других подобных мест вместо роликов иногда применяют шарики (рис. 7.28, б, в). Давление инструмента на обрабатываемую поверхность до 1,47 ... 4,9 кН (150 ... 500 кгс) создается тарированными пружинами, а также пневматическими или гидравлическими устройствами. На рис. 7.28, д показана схема обкатывания наружной поверхности детали овальной формы в поперечном сечении. Двух- или пятирядный шариковый обкатник 2 вращается с частотой вращения 2500 об/мин, а деталь 1 — 5 ... 6 об/мин. Давление инструмента на упрочняемую поверхность (из стали 40ХНМА) 49 ... 59Н (5 ... 6 кгс) обеспечивается грузами самоустанавливающейся каретки 3.

Для калибрования, отделки и упрочнения используют жесткие как нерегулируемые (рис. 7.28, е), так и регулируемые (рис. 7.28, ж) раскатники и обкатники, в которых ролики или шарики жестко прижимаются с определенным усилием к обрабатываемой поверхности. В этом случае исправляется форма исходной поверхности и повышается точность диаметрального размера.

Жесткими раскатниками обрабатывают отверстия диаметром 6 ... 500 мм, длиной до 3 ... 5 м в деталях из различных сталей и цветных сплавов.

Дорнирование, обжатие кромок

Дорнирование (калибрование) отверстий диаметром до 20 ... 40 мм путем проталкивания через них с натягом специальных дорнов (рис. 7.29, а) или стальных полированных шариков (рис. 7.29, б) — эффективный процесс упрочнения болтовых и заклепочных соединений, особенно в тех случаях, когда окончательная обработка происходит в целом пакете без последующей его разборки. Дорнирование совмещают также с протягиванием или с прошивкой отверстий.

В этом случае последние калибрующие зубья протяжки или прошивки без режущих граней выполняют то же назначение, что и дорн. Калибрование производят на прессах, протяжных и других станках.

Для уменьшения трения и шероховатости дорн и обрабатываемую поверхность перед калиброванием смазывают вареным и осернистым маслом. В результате дорнирования точность отверстия мо-

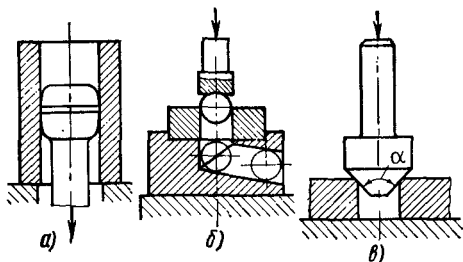


Рис. 7.29. Схемы процессов калибрования и упрочнения поверхности отверстий дорнированием (а), проталкиванием шарика (б) и обжатием кромок (в)

жет быть повышена на один класс и улучшена чистота поверхности с $Rz40 \dots Rz20$ до $Ra 0,32$.

Скорость калибрования не оказывает заметного влияния на точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей. Поэтому при выборе скорости (5 ... 25 м/мин) руководствуются теми же рекомендациями, что и при работе режущими протяжками или прошивками. Оптимальную величину натяга при дорнировании в пределах до 0,2 мм (в зависимости от механических свойств материала, размера отверстий, исходной шероховатости, качества смазки и других факторов) определяют в основном опытным путем. Критерием для выбора оптимального режима калибрования, как при раскатывании, служит качество дорнированной поверхности, которая должна быть зеркальной, особенно вблизи кромок отверстий, где наибольшая концентрация напряжений.

Обжатие кромок отверстий стальными полированными шариками или последовательно несколькими коническими обжимками с различными углами заострения α (рис. 7.29, в) успешно применяется для повышения прочности и выносливости болтовых и заклепочных соединений, валов с масляными отверстиями, проушин шарнирных соединений управления закрылками, рулями и т. п.

Кромки отверстий следует обжимать статически или в случае необходимости сильными и редкими ударами пневмомолотка. Рабочую поверхность обжимок перед обжатием обильно смазывают машинным маслом.

После обжатия кромок отверстий поверхность должна быть блестящей, с чистотой $Ra0,32 \dots Ra0,16$ без заметных следов сдвигов или отслаивания металла.

Для повышения выносливости особо ответственных деталей или упрочнения отверстий, расположенных в наиболее нагруженных местах, целесообразна комбинированная обработка дорнированием и обжатием кромок. Эффект от упрочнения сохраняется до температуры 200 °С для алюминиевых сплавов и до 350 ... 400 °С — для сталей. Затем он уменьшается.

Виброударное упрочнение

Виброударное упрочнение осуществляется в результате соударения шариков или абразивных гранул с обрабатываемой поверхностью детали, помещенных в контейнере, который приводят в колебательное движение вибраторами. Виброударный способ применяется для упрочнения деталей почти с любой формой поперечного сечения. Величина остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое, глубина которого определяется частотой и амплитудой колебания, зависит от продолжительности обработки. Шероховатость поверхности после упрочнения соответствует 6 ... 8-му классу.

Для виброударного упрочнения трубчатого лонжерона (рис. 7.30) применяют стальные шарики диаметром 5 ... 6 мм, которые засыпают во внутреннюю полость лонжерона и в контейнер из расчета 20 г/см² обрабатываемой поверхности.

Обработка дробью

Обработка дробью значительно увеличивает предел усталости деталей, подвергающихся переменному действию изгиба и кручения. Этим способом могут обрабатываться силовые детали сложной

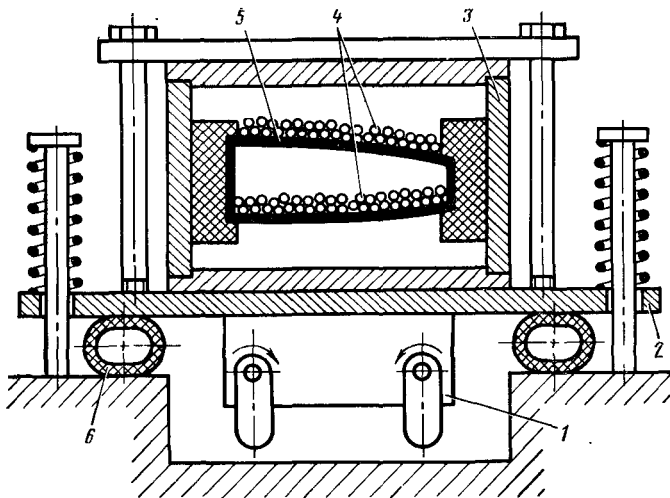


Рис. 7.30. Схема виброударного упрочнения внутренней и наружной поверхностей трубчатого лопжерона:

1 — вибратор; 2 — платформа; 3 — контейнер; 4 — стальные шарики; 5 — лопжерон; 6 — резинокордный упругий элемент

конфигурации: монолитные панели, пояса лопжеронов, пружины, шестерни и т. п. Сущность процесса заключается в том, что поверхность детали бомбардируется потоком дробинки, летящих с большой скоростью. При ударе о поверхность каждая дробинка оставляет микровмятину, в результате чего поверхностный слой пластически деформируется и упрочняется. Внутренние напряжения и упрочнение сначала растут пропорционально времени обработки, но затем (через 1 ... 2 мин) наступает «насыщение». Дальнейшая обработка становится уже вредной, так как ведет к появлению микротрещин.

Оптимальное время обработки и угол падения дробы ($70 \dots 90^\circ$) определяют в зависимости от материала детали и глубины упрочнения экспериментально. С этой целью подвергают односторонней дробеударной обработке плоские образцы, по изменению кривизны которых судят о возникающих внутренних напряжениях, а следовательно, и о степени упрочнения.

Дробь рекомендуется применять стальную возможно меньшего диаметра ($0,1 \dots 0,8$ мм). Дробь на деталь подается либо струей сжатого воздуха в *дробеструйных* установках, либо механически быстровращающейся крыльчаткой в *дробеметных* установках (рис. 7.31).

После обработки сухой дробью или с добавлением смазывающе-охлаждающей жидкости получается «рыбная» поверхность с шероховатостью соответственно $Rz40 \dots Rz20$ и $Rz20 \dots Ra2,5$. Дробеударный метод применяют также для формообразования

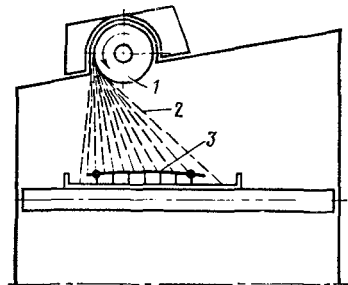


Рис. 7.31. Схема дробеметной установки:

1 — крыльчатка; 2 — струя дробы; 3 — упрочняемая панель

деталей из полуфабрикатов относительно небольшой жесткости. Под действием напряжений, возникающих в поверхностном слое, подвергающаяся односторонней дробеударной обработке заготовка изгибается в сторону струи дробы до тех пор, пока напряжения от наклепа и изгиба не уравниваются. При одинаковой в обоих направлениях жесткости заготовка примет выпуклую сферическую форму. Если заготовка (например, монолитная панель) подкреплена с одной стороны продольными элементами достаточной жесткости, то изгиб будет происходить в плоскости наименьшей жесткости. Вдоль стрингеров панель остается прямой. За несколько пропусков заготовки через поток дробы возможно сформировать монолитную панель без применения штампов или оправок. Изменяя площадь, подвергаемую воздействию дробы, и кинетическую энергию дробин, можно подобрать режимы для заданного в определенных пределах формоизменения заготовки. Места, которые нежелательно подвергать дробеударному воздействию, изолируют тонкой листовой резиной.

§ 4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении заготовительно-штамповочных работ без надлежащих защитных мер возможны травмы и несчастные случаи.

На предприятиях применяются подвижные и неподвижные решетки и устройства, которые предотвращают попадание рук оператора в опасную зону при выполнении рабочего хода оборудования. Пedaли включения пресса ограждаются от их случайного нажатия. Если управление кнопочное, то рабочий ход пресса включается только при нажатии сразу двух кнопок, что устраняет возможность травмирования рук. На прессах иногда устанавливают так называемую фотоэлементную защиту: если руки оператора оказываются в опасной зоне и преграждают путь лучу от источника света к фотоэлементу, то муфта сцепления не срабатывает и рабочий ход не включается.

Особой строгостью отличаются меры по технике безопасности и охране труда при штамповке взрывом, электрогидравлической и импульсной электромагнитной штамповке. Открытую площадку для штамповки с использованием в качестве энергоносителя бризантных взрывчатых веществ следует размещать на сейсмически безопасном расстоянии от зданий и оборудовать в соответствии с правилами безопасности при взрывных работах.

Корпуса электрогидравлической и электроимпульсной установок должны быть надежно заземлены. Это обеспечивает эффективную экранировку и предупреждает индуктирование напряжения в окружающем оборудовании. Для защиты оператора от возможного «взрывного» разрушения индуктора электроимпульсная установка должна быть ограждена сеткой или размещена в специальном боксе.

Большое значение в предотвращении производственного травматизма имеет хорошее знание рабочими оборудования, технологического оснащения и правил их эксплуатации.

Наиболее кардинально решает вопрос обеспечения безопасных условий труда автоматизация питания оборудования заготовками и полуфабрикатами, а также удаления из рабочей зоны готовых деталей и отходов.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС, КЕРАМИКИ И МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТМАСС, ПРИМЕНЯЕМЫХ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

Пластические массы, получаемые на основе синтетических высокомолекулярных веществ или их композиций с различными наполнителями, легко перерабатываются в детали и изделия и удовлетворяют самым разнообразным требованиям авиационной техники. Они могут быть широко использованы не только как заменители металлов, но и как основные конструкционные материалы для изготовления ответственных деталей и узлов летательных аппаратов.

Большинство пластмасс обладает комплексом свойств, позволяющих применять их не в одной, а в нескольких областях в различных сочетаниях.

Пластическим массам присущи свойства, выгодно отличающие их от других материалов. К их числу относятся: простота изготовления сложнейших и сложноармированных деталей и изделий с минимальными последующими доработками; малая плотность деталей и изделий, не превышающая $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³ (в большинстве случаев $1,0 \dots 1,3 \cdot 10^3$ кг/м³); высокие удельная прочность, эластичность, упругость, виброустойчивость, высокая коррозионная стойкость в различных средах, хорошие диэлектрические, звуко- и теплоизоляционные качества, свето- и радиопрозрачность, легкость обработки.

К числу недостатков современных пластмасс следует отнести: невысокую длительную теплостойкость (до $250 \dots 300$ °С); низкие модуль упругости (до $33,3 \cdot 10^3$ МПа ($33,3 \cdot 10^8$ кгс/м²)) и ударную вязкость; старение, приводящее к изменению физико-механических свойств в процессе длительного хранения и эксплуатации.

В отечественной и зарубежной практике пластмассы применяются в авиационной технике для изготовления обтекателей радиолокационных антенн; деталей остекления кабин; лопастей винтов; трубопроводов системы кондиционирования; легкой мебели для пассажирских кабин; теплоизоляции, декоративных панелей; уплотнительных, фрикционных и электротехнических деталей и др.

Выбор материала зависит от назначения и технических требований, предъявляемых к изделиям (прочность, герметичность, теплостойкость и др.).

Изделия из пластмасс изготавливаются на основе термопластичных и термореактивных полимеров.

К числу термопластов, применяемых в самолетостроении, относятся: полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, поли-

стирол, полиметилметакрилат, полиформальдегид, поликарбонат, полиамиды, фторопласты, линейные полиэфиры.

Из терморезактивных полимеров наибольшее значение приобрели фенольно-формальдегидные, мочевино-формальдегидные, отверждающиеся полиакрилаты и полиэпоксины, непредельные полиэфиры, полисилоксаны.

Отверждение терморезактивных полимеров сопровождается усадкой от 0,15 до 10 ... 18 %. Введение различных инертных веществ снижает величину усадки. Поэтому наиболее широкое применение находят армированные пластмассы, в которых сочетаются смола и наполнитель.

Армированные пластмассы изготавливаются, как правило, на основе терморезактивных полимеров.

При переработке в изделие термопластичных полимеров большой усадки не наблюдается, она колеблется в пределах 0,2 ... 4 %. Поэтому термопластичные полимеры сравнительно редко сочетаются с наполнителями.

§ 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Пластические массы перерабатываются в изделия одним из следующих методов: прессованием прямым и литьевым, литьем под давлением, экструзией, формованием в закрытых штампах, формованием при низком давлении, центробежным литьем, центробежным формованием.

Прессование прямое и литьевое является наиболее распространенным, отличается простотой, дешевизной и обеспечивает массовый выпуск изделий без существенных доработок.

По конструктивным признакам пресс-формы для прямого прессования разделяются на открытые, закрытые и полузакрытые (рис. 8.1).

Пресс-формы открытого типа предназначены для прессования изделий несложного профиля, они дешевы и мало изнашиваются благодаря отсутствию трущихся частей, но отличаются повышенным расходом пресс-материала и не требуют высокой точности в его дозировке. Избыток материала выдавливается через зазор между пуансоном и матрицей, образуя облой.

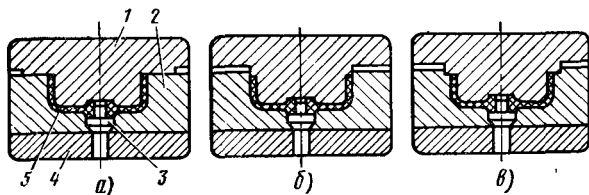


Рис. 8.1. Схемы пресс-форм:

а — открытого типа; 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — выталкиватель; 4 — основание;
б — изделия; в — закрытого типа; 5 — изделие; 6 — полузакрытого типа

Пресс-формы закрытого типа позволяют прессовать изделия значительной высоты и сложного профиля, дают большую экономию материала, но требуют точной его дозировки.

Пресс-формы полужакрытого типа сочетают в себе достоинства пресс-форм первых двух типов и имеют наибольшее распространение, обеспечивая возможность прессования изделий различной конфигурации повышенной точности.

Способ прямого прессования применяется главным образом для деталей из терморезистивных пластмасс. Для получения изделий обогреваемая пресс-форма загружается подогретым на 10 ... 15 °С выше температуры пресс-формы полуфабрикатом (в виде порошка или таблеток), после чего производится двух-трехкратная подпрессовка и выдержка для отверждения. Готовая деталь извлекается из пресс-формы и последняя очищается для новой загрузки полуфабрикатом.

Предварительный (перед прессованием) нагрев терморезистивной массы значительно ускоряет процесс прессования.

Прямое прессование осуществляется в стальных пресс-формах на прессах, преимущественно гидравлических, под давлением 20 ... 40 МПа (200 ... 400 кгс/см²) в зависимости от физических свойств материала. Одним из факторов, ограничивающих здесь длину детали, является длина пресс-формы, предназначенной для определенного пресса. Другим фактором, ограничивающим габаритные размеры детали, является зависимость между номинальным усилием пресса и площадью изделия.

Для определения наибольшей допускаемой площади (площади горизонтальной проекции) детали F в м² можно использовать формулу

$$F = P/q,$$

где P — усилие прессования; q — давление прессования.

Давление прессования зависит от марки прессуемого материала и сложности детали и выбирается по соответствующим таблицам.

Литьевое прессование применяется главным образом для формообразования тонкостенных деталей сложной конфигурации и деталей с тонкой арматурой. Прессуемый порошок загружается в камеру 7 (рис. 8.2), в которой нагревом приводится в вязкотекучее состояние, после чего пуансоном 1 под давлением 50 ... 150 МПа (500 ... 1500 кгс/м²) выдавливается через литник 6 в полость между матрицей 2 и пуансоном 3, имеющую форму детали 5. По сравнению с обычным прессованием производительность ниже, однако при этом достигаются высокие точность размеров и чистота поверхности.

Литье под давлением осуществляется на специальных литьевых машинах (рис. 8.3). Из бункера 5 в нагревательный цилиндр непрерывно подается порошкообразная формуемая масса, поступающая при помощи плунжера 4 в обогреваемую приемную камеру 3. В зоне расположения нагревателей 6 эта масса переходит

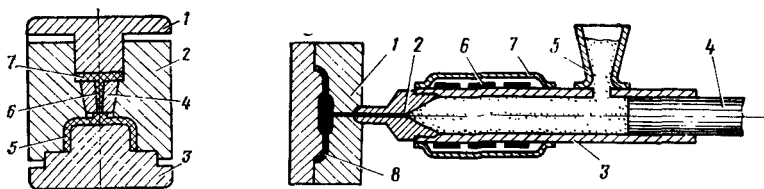


Рис. 8.2. Схема пресс-формы для литейного прессования:

1 — литейной пуансон; 2 — матрица; 3 — пуансон; 4 — вкладыш; 5 — деталь; 6 — литник; 7 — камера с литниковым остатком

Рис. 8.3. Схема литья под давлением:

1 — литейная форма; 2 — сопло; 3 — приемная камера; 4 — плунжер; 5 — бункер; 6 — электронагреватели; 7 — кожух; 8 — деталь

в пластическое состояние и под давлением плунжера через отверстие в сопле 2 поступает в полость пресс-формы. После охлаждения пресс-формы (обычно водой, поступающей в пуансон и матрицу по особым каналам) готовая деталь вынимается.

Технологические режимы литья зависят от типа полимера, литейной формы и изготавливаемого изделия. Так, рабочее давление создается в пределах 50 ... 150 МПа (500 ... 1500 кгс/см²), температура колеблется в пределах 150 ... 300 °С.

Способом литья под давлением изготавливаются главным образом детали из термопластов.

Габаритные размеры деталей из термопластичных пластмасс зависят в основном от характеристик термопластоавтоматов, производительность и мощность которых характеризуется величиной суммарной массы получаемой отливки. Для наиболее мощной отечественной машины ИЛ-6300 наибольшая масса отливки составляет 6,3 кг, и наибольшая площадь проекции отливки составляет 0,52 м².

Точность размеров детали зависит от точности пресс-формы, ее износа и изменения рабочего пространства при нагреве, точности дозировки пресс-порошка и усадки полимера.

Литье под давлением отличается высокой производительностью; его недостатком является наличие в готовых изделиях внутренних напряжений вследствие неравномерного охлаждения полимера, что отражается на механических свойствах изделий и их поведении при эксплуатации.

Экструзия — процесс, во многом сходный с литьем под давлением, осуществляется на специальных машинах — экструдерах. Методом экструзионного формования получают различные профили, трубы, а также пленки и листы из термопластичных полимеров.

В качестве экструдеров наибольшее применение нашли червячные прессы (шнек-машины) непрерывного действия, обладающие высокой производительностью. Схема рабочей части экструдера приведена на рис. 8.4.

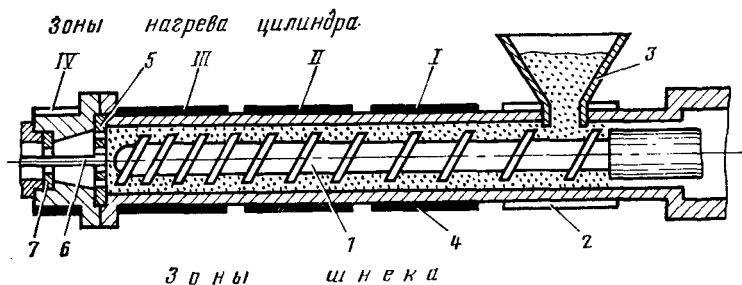


Рис. 8.4. Рабочая часть экструдера:

I, II, III, IV — электронагреватели; *1* — шнек; *2* — полость для охлаждающей воды; *3* — загрузочный бункер; *4* — цилиндр; *5* — решетка; *6* — дорн, оформляющий внутреннюю поверхность профиля; *7* — формообразующий мундштук

Полуфабрикат в виде порошка, гранул или ленты подается через загрузочный бункер *3* в обогреваемый цилиндр *4* и захватывается шнеком *1*, вращающимся со скоростью 20–100 об/мин. Перемещаясь вдоль оси цилиндра, полуфабрикат проходит температурные зоны *I, II* и *III*, перемешивается, постепенно разогревается до вязкотекучего состояния (температура 120 ... 200 °С) и продавливается через решетку в формующее устройство.

Раздувкой трубчатой заготовки сжатым воздухом можно изготавливать из термопластов полые изделия (различные емкости). Для этого трубка, выходящая из головки экструдера, поступает на приспособление для выдувания (рис. 8.5).

Штамповка применяется для формообразования листовых термопластов и некоторых материалов на основе термореактивных смол. Особенно широко применяется штамповка для деталей из термопластов, в частности, деталей остекления самолетов. Формуемый материал, переведенный в пластическое состояние, пре-

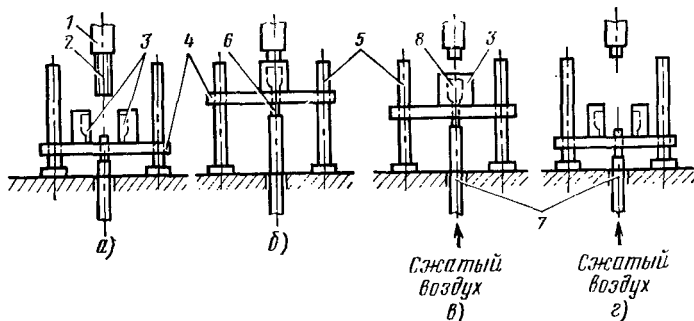


Рис. 8.5. Схема выдувания полых изделий:

1 — головка экструдера; *2* — трубчатая заготовка; *3* — половинка формы; *4* — плита; *5* — направляющие колонки; *6* — сопло для подачи воздуха; *7* — труба для подачи воздуха; *8* — готовое изделие; *а* — начало формирования — форма открыта; *б* — смыкание формы с одновременным экструдированием материала; *в* — раздувка материала; *г* — открытие формы и снятие изделия

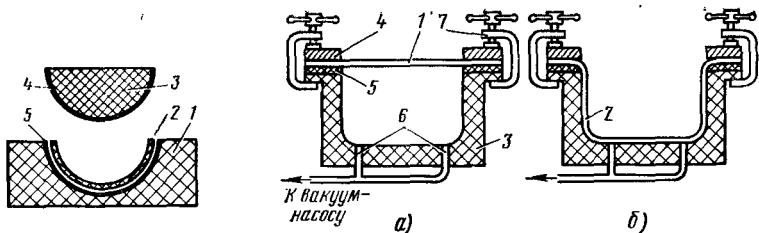


Рис. 8.6. Формование в штампах:

1 — матрица; 2 — термопласт; 3 — пуансон; 4 и 5 — замша

Рис. 8.7. Схема вакуумного формования в матрицу:

а и б — разные стадии процесса; 1 — лист термопласта; 2 — изделие; 3 — матрица; 4 — зажимная рама; 5 — эластичная прокладка; 6 — каналы для отсасывания воздуха; 7 — винтовые зажимы

имущественно нагреванием (до 80 ... 140 °С), деформируется в специальном штампе или приспособлении и приобретает необходимую форму. Не снимая внешнего усилия, изделие охлаждают (или отверждают) для фиксации приданной ему конфигурации.

Формообразование можно производить одним из следующих способов.

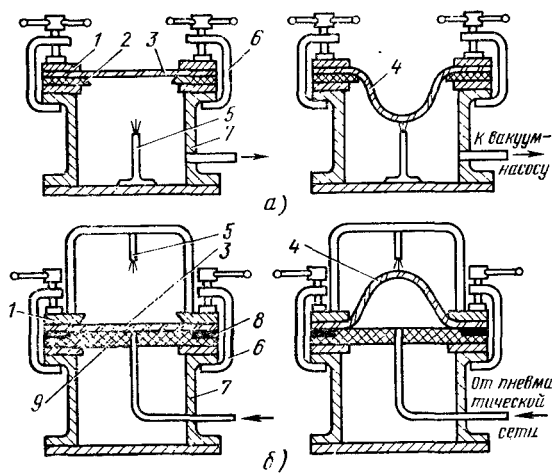
1. Формование в закрытых штампах (рис. 8.6), состоящих из жесткого пуансона и матрицы. При таком способе листу придаются несложные контуры и небольшая кривизна. Однако, несмотря на то, что штампы обычно изготавливают из неметаллических материалов с обтягиванием замшей, поверхности мягкого листа термопласта трудно предохранить от повреждения.

2. Пневматическим или вакуумным формованием в матрицу, при котором жесткий пуансон заменяется давлением воздуха или вакуумированием (рис. 8.7). Этим способом можно изготавливать детали сложных форм из прозрачных пластиков с достаточно высокими оптическими свойствами, так как материал не скользит по оформляющей поверхности, а только прижимается к ней по мере вытяжки.

3. Формованием методом свободной вытяжки (или пневматическим и вакуумным формованием) через протяжное формообразующее кольцо (рис. 8.8). Разогретая заготовка укладывается на формообразующее кольцо специальной установки, зажимается между протяжными и прижимными кольцами и производится формообразование избыточным давлением или вакуумом. Глубина вытяжки регулируется отключением подачи сжатого воздуха и вакуумирования.

При вакуумном формовании избыточное давление не превышает 80 ... 90 кПа, поэтому для деталей, которые требуют более высокого давления, применяется пневматическое формование (например, для деталей, имеющих форму, близкую к форме тел вращения, с высокими оптическими свойствами).

Рис. 8.8. Схемы формования при помощи колец:
 а — вакуумное; б — пневматическое; 1 — прижимное (протяжное) кольцо; 2 — протяжное кольцо; 3 — литовой термопласт; 4 — изделие; 5 — указатель глубины вытяжки; 6 — винтовые зажимы; 7 — вакуумная и пневматическая камера; 8 — резиновая прокладка; 9 — опорная плита



Для повышения прочности изделий (в частности, из органического стекла) вакуум- и пневмоустановки снабжают приспособлением, обеспечивающим многоосную ориентацию заготовки перед формованием. На рис. 8.9 приведена схема приспособления для ориентации заготовок круглой формы.

4. Способом вакуум- или пневмоформования с последующей посадкой на болванку (рис. 8.10). Вначале вакуум- или пневмоформованием получают заготовку, имеющую форму тела вращения. Затем внутрь заготовки вводят болванку соответствующей конфигурации. Вследствие релаксации внутренних напряжений при температуре формования заготовка плотно обжимает болванку.

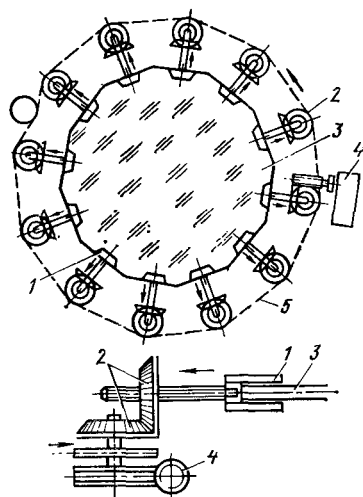


Рис. 8.9. Схема получения ориентированных листов органического стекла круглой формы: 1 — захваты; 2 — тянущий узел; 3 — органическое стекло; 4 — редуктор; 5 — цепь

Рис. 8.10. Схема пневмоформования с последующей посадкой на болванку: 1 — заготовка термопласта; 2 — протяжное кольцо; 3 — болванка

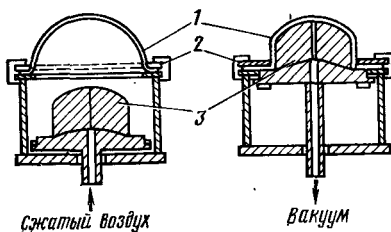
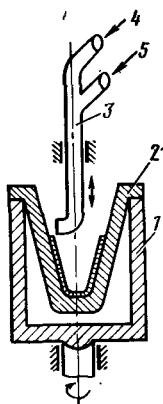


Рис. 8.11. Схема центробежного формования:

1 — центрифуга; 2 — форма; 3 — распределительное устройство
4 — подача рубленного волокна; 5 — подача связующего



В конечной стадии изготовления особенно сложных деталей применяется вакуумирование. Температура полимера по окончании формования должна быть на $10 \dots 15^\circ$ выше температуры его размягчения.

Изменяя контуры протяжного кольца и форму болванок, можно получать детали сложной конфигурации, отличные по форме от тел вращения, со значительной степенью утонения листового термопласта.

Во всех перечисленных ранее случаях нагревать заготовки можно непосредственно в приспособлениях. Для этой цели в различные элементы оснастки могут быть вмонтированы нагревательные элементы разнообразных конструкций.

Центробежное литье применяется для изготовления крупногабаритных деталей, имеющих форму тел вращения, из термопластичных полимеров.

Расплавленный полимер заливают во вращающуюся форму, где он под действием центробежных сил прижимается к внутренней поверхности формы и затвердевает. Этот способ принципиально не отличается от центробежного литья металлов.

Центробежное формование применяется для изготовления крупногабаритных деталей и изделий, имеющих форму тел вращения, преимущественно из полиэфирных и эпоксидных связующих. При этом способе рубленое волокно (например, стекло или углеволокно) и связующее посредством распределительного устройства 3 с регулируемой скоростью перемещения равномерно подают в форму 2, помещенную во вращающуюся центрифугу 1 с частотой вращения $2000 \dots 2500$ об/мин (рис. 8.11). После получения заготовки необходимой толщины в форму с заготовкой помещают резиновый мешок, с помощью которого создается необходимое давление в процессе отверждения заготовки при термообработке.

Формование при низком давлении применяется преимущественно для высоконагруженных и крупногабаритных изделий из высокопрочных терморезистивных армированных материалов (см. гл. 18).

При конструировании деталей из пластмасс следует учитывать технологические требования, основные из которых сводятся к следующему: поскольку процесс изготовления деталей сопровождается большой усадкой (особенно при литье под давлением и пресовании) в конструкциях не следует допускать большой разнотолщинности, которая вызывает коробление деталей и образование трещин. Разнотолщинность при пресовании принимается не

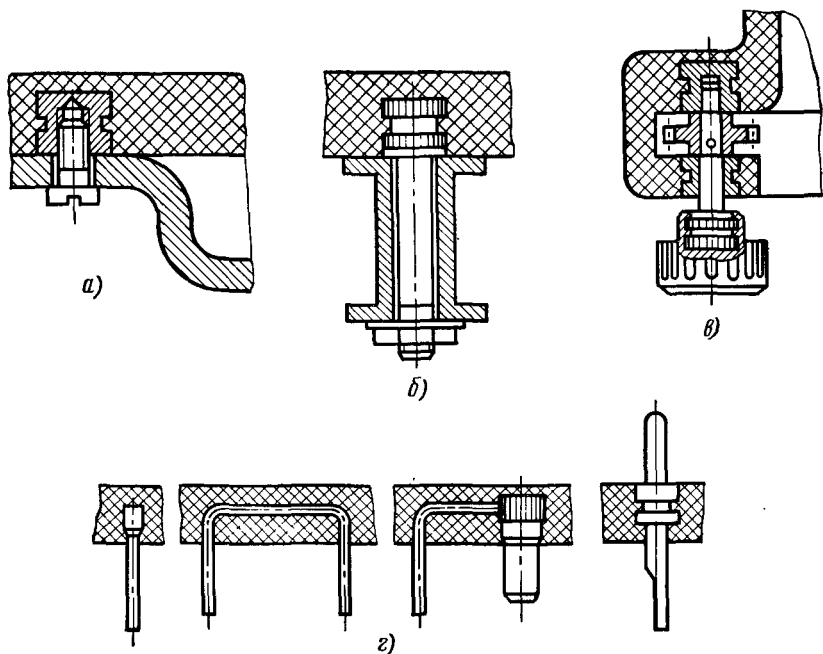


Рис. 8.12. Армирование деталей из пластмасс, конструктивные варианты заделки арматуры в пластмассу:

a и *б* — резьбовой металлической втулкой или болтом для крепления смежной детали; *в* — металлическими втулками (подшипниками) для установки осей; *г* — проводниками и контактами

более 1 : 3, а при литье под давлением — 1 : 5; при этом от большего сечения к меньшему должен быть плавный переход. Допускаемая толщина для терморезистивных материалов должна быть не более 2,0 ... 6,0 мм, а для термопластичных — 0,5 ... 2,0 мм.

Для повышения жесткости в конструкции деталей следует предусматривать ребра жесткости.

Острые углы и грани скругляются, так как наружные незаглушенные углы легко скалываются, а внутренние способствуют образованию трещин. Минимальные радиусы сопряжений для деталей, получаемых прессованием, 1,0 ... 2,0 мм, а литьем под давлением 0,5 ... 1,0 мм.

Отверстия в изделиях формируются знаками, закрепленными в пресс-форме (диаметр не менее 0,25 мм).

Прессованием и литьем под давлением получают наружные и внутренние резьбы, не требующие механической обработки. Минимально допустимый диаметр резьбы для деталей из термопластов и пресс-порошков равен 2,5 мм, для волокнистых материалов — 4,0 мм, минимальный шаг резьбы — 0,5 мм. Более мелкую резьбу получают запрессовкой резьбовых или гладких металлических втулок, с последующим нарезанием в них резьбы на станке.

В детали из пластмасс могут быть впрессованы армирующие элементы из других материалов (металлов, стекла, фарфора и др.) для местного упрочнения, создания электропроводящих цепей, крепления к другим конструктивным элементам. Для прочного удержания в деталях арматуры предусматривается рифление, накатка, проточка, выступы, отверстия.

На рис. 8.12 приведены примеры армирования деталей из пластмасс.

Для обеспечения извлечения детали из пресс-формы на ее наружных и внутренних формообразующих поверхностях следует предусматривать технологические уклоны для внешних поверхностей не менее 5° , для внутренних — не менее 10° . Максимальная величина уклона до 2° .

При конструировании деталей следует предусматривать минимальную механическую обработку, так как она связана с большими трудностями и значительно повышает себестоимость.

§ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КЕРАМИКИ И МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ

В авиационной технике некоторые детали и изделия изготавливают из порошков различных металлов и специальных керамических материалов методами порошковой металлургии и керамической технологии (из чисто керамических порошков).

Изделия по методу порошковой металлургии получают из тонкодисперсных металлических порошков путем формования, спекания, а в необходимых случаях и последующей обработки. К материалам, перерабатываемым только этим методом, относятся твердые сплавы, композиции из металлов и неорганических неметаллических материалов и др. Детали отличаются точностью, соответствующей 11... 13 квалитетам. Подбором смесей можно получить изделия с заранее заданными свойствами.

В случае необходимости в детали может быть введена арматура из различных материалов; они могут подвергаться механической обработке, сварке, пайке, термообработке и на них можно наносить всевозможные покрытия.

Для изготовления металлокерамических и керамических изделий применяют порошки железа, меди, олова, свинца, алюминия, никеля, хрома, а также порошки окислов, карбидов, боридов, нитридов и других, состоящих из очень мелких частиц (0,5 ... 5000 мкм).

Металлокерамика применяется при изготовлении подшипников и фрикционных изделий, фильтров для очистки различных жидкостей, газов и жидких металлов от твердых частиц, а также в качестве контактных и магнитных материалов. Разрабатываются уплотнительные материалы, способные работать без дополнительной смазки при высоких температурах, — на керамико-металлических и некоторых керамических материалах.

Фрикционные изделия из металлокерамических материалов имеют коэффициент трения 0,3 ... 0,5 при работе всухую и 0,1 ... 0,2 — при работе в масле. Для повышения теплостойкости и коэффициента трения фрикционных изделий на основе меди или железа к ним добавляется кремний, асбест и другие компоненты. Добавление свинца, графита и некоторых других компонентов создает смазку на поверхности трущихся частей.

Керамические материалы приобретают особое значение с ростом скоростей полета летательных аппаратов, подвергающихся действию высоких температур. Например, перспективные высокоскоростные самолеты должны работать длительно в окислительной среде воздуха при температуре выше 1000 °С. Не говоря уже об обычных широко применяемых в настоящее время материалах, этим требованиям без специальной защиты не отвечают даже тугоплавкие ниобий, молибден, вольфрам. Перспективными с этой точки зрения являются такие керамические материалы, как чистые окислы и бескислородные соединения металлов — карбиды, бориды, нитриды и некоторые другие.

Однако наиболее стойкими из них в окислительной среде являются окислы. Такие окислы, как Al_2O_3 , ZrO_2 , BeO , TiO_2 могут работать в окислительной среде в интервале 1700 ... 2600 °С.

В настоящее время наметилось несколько направлений применения материалов, работающих в условиях длительного нагрева в окислительной среде, и, в частности, непосредственное изготовление необходимых деталей из керамики соответствующей удельной прочности и жаростойкости. Например, керамических обтекателей радиолокационных антенн; защита от чрезмерного нагрева, окисления и других термохимических процессов алюминиевых и титановых сплавов, жаропрочных тугоплавких металлов, графита, металлокерамики или керамики путем нанесения на их поверхность покрытия на основе окисной или другого типа керамики или пенокерамики.

Для первого направления наиболее перспективны окислы, перерабатываемые методами керамической технологии.

Для второго направления в случае керамической или металлокерамической основы также применяется керамическая или металлокерамическая технология, а для нанесения защитного покрытия или изготовления деталей этого покрытия — самые разнообразные технологические процессы. Например, тепловая защита многоразовых воздушно-космических самолетов, изготовленных из традиционных материалов, может быть осуществлена путем механического присоединения к металлической поверхности множества теплозащитных плиток, создающих обтекаемую поверхность. Эти плитки могут быть изготовлены из керамических волокон на керамической связке (SiO_2-SiO_2) или углеродных волокон на углеродной матрице (C—C) (см. гл. 18) с нанесением на них противокислительных керамических покрытий.

§ 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КЕРАМИКИ И МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ

Технологические процессы изготовления изделий из порошковых керамических материалов многообразны и зависят от исходных материалов, форм и размеров деталей. Однако можно выделить следующие основные этапы получения деталей:

- 1) подготовка исходной композиции;
- 2) формообразование и спекание (для металлокерамики) или обжиг (для керамики);
- 3) доработка (зачистка, механическая обработка, покрытие);
- 4) контроль.

Подготовка исходной композиции. В зависимости от качества материалов и методов формования исходная композиция готовится в виде порошка или смеси порошков (шихты) либо порошка или смеси порошков, замешанной технологической связкой (пластификатором), называемой *шликером*.

Подготовленная и дозированная шихта (шликер) загружается в форму для последующего формообразования одним из следующих методов: прессование холодное или при сравнительно небольшом нагреве, литье, напыление, прокатка.

Прессование холодное или при сравнительно небольшом нагреве используется для деталей сравнительно простых форм, при небольшой их высоте (в направлении прессования) по отношению к площади сечения. Сущность его заключается в том, что порошок или смесь порошков загружается в стальную пресс-форму и прессуется с определенным давлением, создаваемым обычно гидравлическим прессом.

Давление прессования зависит от материала и требуемой плотности изделия и колеблется в пределах 150 ... 400 МПа.

Прессование может быть односторонним и двусторонним (рис. 8.13). При двустороннем прессовании равномерность уплотнения выше.

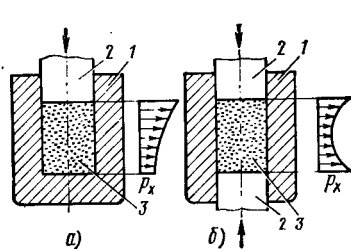


Рис. 8.13. Схема холодного прессования в металлических пресс-формах:

а — одностороннее; б — двустороннее (P_k — степень уплотнения по высоте детали); 1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — прессуемый порошок

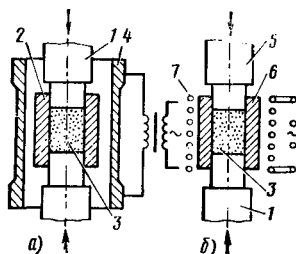


Рис. 8.14. Схема горячего прессования:

а — нагрев методом сопротивления; б — индукционный нагрев; 1 — пуансон; 2 — графитовая матрица; 3 — порошок; 4 — угловая или графитовая труба; 5 — керамический пуансон; 6 — керамическая матрица; 7 — индуктор

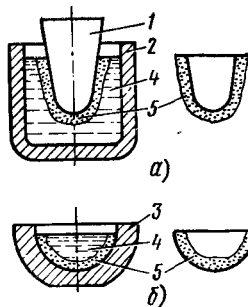
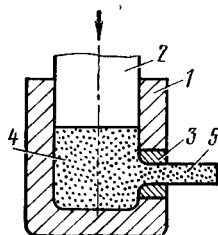
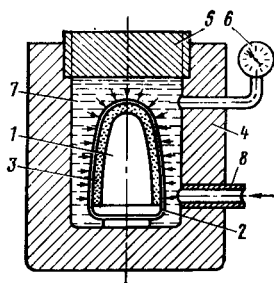


Рис. 8.15. Схема гидростатического прессования:

1 — сердечник (форма); 2 — резиновый мешок; 3 — масса заготовки; 4 — корпус гидростатической установки; 5 — крышка; 6 — манометр; 7 — жидкость; 8 — трубка для подачи жидкости

Рис. 8.16. Схема мундштучного прессования:

1 — цилиндр; 2 — шток; 3 — матрица; 4 — масса; 5 — заготовка

Рис. 8.17. Схема горячего литья:

а — методом «намораживания»; б — методом «сливного литья»; 1 — пуансон; 2 — сосуд; 3 — матрица; 5 — расплавленный шликер; 5 — замороженная корочка-заготовка

Прессование горячее применяется для деталей и изделий из тугоплавких металлов и керамики. В этом случае (рис. 8.14) достигается лучшее уплотнение, большая равномерность структуры и резкое сокращение времени обжига (спекания).

При гидростатическом прессовании получают сложные заготовки или детали, в том числе крупногабаритные, симметричной формы.

Порошок, смесь порошков или шликер в резиновой емкости помещают в гидростатическую установку для всестороннего сжатия (рис. 8.15). При этом порошок прессуется более равномерно и получается более ровная структура материала. Полученное изделие подвергают спеканию (обжигу). В гидростатических установках может создаваться давление до 300 МПа.

Прессование мундштучное (или экструзия) применяется для изготовления стержней, труб и профилей. Смесь порошков, замешанную пластификатором, продавливают через отверстие матрицы — мундштук (рис. 8.16). Полученные изделия подвергают предварительному спеканию для удаления пластификатора и окончательному спеканию (обжигу).

Помимо этих общеизвестных методов, одинаковых и для литья металлов, порошковые изделия можно получать методом «намораживания» и «сливного литья». В первом случае в горячий шликер опускается холодный пуансон, отображающий внутреннюю поверхность детали (изделия). Горячая масса застывает на поверхности пуансона, образуя корочку-заготовку (рис. 8.17, а). Повторяя многократно эту операцию, можно получить заготовку необходимой толщины.

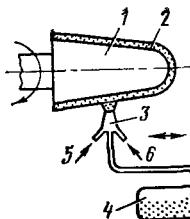


Рис. 8.18. Схема горячего напыления:

1 — оправка; 2 — заготовка; 3 — горелка; 4 — керамический порошок; 5 — подача кислорода; 6 — подача ацетилена; 7 — подача воздуха (аргона)

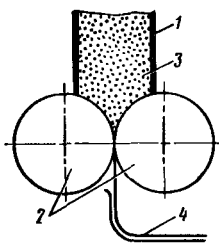


Рис. 8.19. Схема прокатки порошков:

1 — бункер; 2 — валки; 3 — порошок; 4 — лист (лента)

Во втором случае горячий шликер заливается в холодную матрицу, отображающую внешнюю поверхность детали (рис. 8.17, б).

Метод напыления позволяет получать керамические детали (изделия) путем нанесения порошков на вращающуюся оправку.

В случае *холодного напыления* порошкообразная смесь керамических материалов смешивается с фенольно-формальдегидными или кремнийорганическими связующими и напыляется на нагретую поверхность оправки.

В случае *горячего напыления* смесь керамических материалов под действием пламени сильно разогревается (вылоть до оплавления) и с большой скоростью выбрасывается на поверхность оправки (рис. 8.18).

Методы напыления могут быть использованы также для нанесения защитных керамических покрытий на металлические и керамические детали. При этом вследствие различия коэффициентов линейного расширения материала основной детали и покрытий, а также чтобы исключить их термохимическое взаимодействие, на поверхность детали наносится металлический подслоя тоже горячим напылением либо другим методом.

Прокатка применяется для изготовления керамико-металлических листов или ленты. Порошок или смесь порошков прокатывают на валках и спекают (рис. 8.19) в печах непрерывного действия. Время спекания резко сокращается вследствие быстрого прогрева тонкого листа.

После повторной прокатки (или других уплотняющих операций) получают тонкий лист или ленту, пригодные для холодной штамповки. Путем прокатки можно, в частности, получить из предварительно спрессованной и спеченной заготовки листовой спеченый алюминиевый порошок (САП), содержащий до 15 % окиси алюминия (Al_2O_3), которая покрывает зерна чистого металла и образует в спеченном листе непрерывный каркас. Такой листовой

материал может подвергаться всем видам обработки и длительно эксплуатироваться при температурах до 600 °С.

Доработка полученных керамических деталей заключается в зачистке заготовок и изделий, калибровки, точении, фрезеровании, сверлении, обработке ультразвуком и т. п. при помощи специального инструмента. Ультразвуком обрабатываются обычно детали из наиболее хрупких материалов.

На всех этапах изготовления деталей и изделий контролируются исходные металлические порошки и смеси порошков, брикеты и готовые детали (изделия). Внешним осмотром можно выявить трещины, раковины, расслоения, оплавления. Внутренние дефекты выявляются рентгеноскопией. Кроме того, отдельные детали из партии подвергаются механическим испытаниям и металлографическому контролю с целью определения текучести, равномерности распределения компонентов в шихте, пористости, твердости и т. д.

При разработке технологических процессов изготовления деталей и изделий из порошковых материалов необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) выполнять отверстия по возможности круглого сечения;
- 2) соблюдать равномерность толщины стенок деталей;
- 3) избегать резких переходов от толстых сечений к тонким.

При определении целесообразности применения методов порошковой металлургии для изготовления деталей, которые могут быть получены и другими способами, следует принимать во внимание в первую очередь масштаб производства и сложность детали.

В качестве примера в табл. 8.1 приведена схема технологического процесса изготовления втулки из бронзографита методом холодного прессования. Исходные материалы: Cu, Zn, С.

Таблица 8.1

Номер операции	Содержание операции
1	Перемешивание порошкообразных компонентов в течение 2 ... 3 ч
2	Дозировка и загрузка в пресс-форму
3	Прессование на гидравлическом прессе при $p = 200 \dots 400$ МПа
4	Спекание в среде защитного газа (аргона) при температуре 800 ... 820 °С в течение 3 ч
5	Пропитка в масле при 160 ... 180 °С в течение 3 ч
6	Калибрование в пресс-форме
7	Контроль

ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В зависимости от места в технологическом процессе различают предварительную, промежуточную и окончательную термообработку.

Предварительная термообработка выполняется для улучшения обрабатываемости заготовок.

Промежуточная термообработка используется для восстановления пластических свойств заготовок между отдельными переходами.

Окончательная термообработка предназначена для получения заданных механических характеристик готовых деталей. У высокопрочных и труднообрабатываемых материалов окончательную термообработку выполняют после черновой, но до чистовой обработки резанием, чтобы иметь возможность удалить поверхностный дефектный слой, а также устранить погрешности форм и размеров, возникшие в результате термической обработки.

Детали из алюминиевых и магниевых сплавов проходят окончательную термообработку до механической обработки, так как эти сплавы лучше всего обрабатываются резанием при максимальной твердости.

Термическая обработка деталей из конструкционных сталей. Область применения различных видов термообработки определяется совокупностью получаемых в результате их выполнения механических характеристик заготовок или деталей.

Диффузионный отжиг (гомогенизация) состоит из нагрева до температуры, значительно (на 300 ... 400 °С) превышающей точку $A_{с_3}$, длительной выдержки (10 ... 20 ч) и медленного охлаждения *. Применяется главным образом для отливок с целью устранения дендритной ликвации.

Высокий отжиг выполняется нагревом до температуры на 30 ... 50° выше точки $A_{с_3}$, выдержкой при этой температуре и последующим медленным охлаждением с заданной скоростью. Обеспечивает перекристаллизацию и получение равновесных (устойчивых) структур. Применяется с целью исправления крупнозернистой структуры, образовавшейся в результате диффузионного отжига, литья, сварки или горячего деформирования, а также для повышения пластичности, улучшения обрабатываемости резанием и снятия внутренних напряжений.

Изотермический отжиг заключается в нагреве до температуры выше точки $A_{с_3}$, выдержке и быстром переносе заготовок в другую печь с температурой несколько ниже $A_{с_1}$, выдержке до полного распада аустенита и ускоренном охлаждении на воздухе или в подо-

* Точные режимы термической обработки для сталей и сплавов приводятся в справочниках.

гретой воде. Применяется для тех же целей, что и высокий отжиг. Положительной особенностью процесса является меньшая длительность (примерно на 1/3) по сравнению с высоким отжигом. Недостатком является некоторое усложнение процесса.

Неполный отжиг проводят при нагреве до температуры выше точки A_{c1} , но ниже A_{c3} с последующим охлаждением. Применяют для улучшения механической обрабатываемости частично закалившихся при горячей обработке заготовок, а также в качестве межоперационной термической обработки для снятия наклепа при пластическом деформировании коррозионно-стойких упрочняющихся сталей.

Применение неполного отжига вместо высокого снижает длительность и стоимость термической обработки.

Низкий отжиг (высокий отпуск) осуществляют нагревом до температуры ниже точки A_{c1} с выдержкой и охлаждением на воздухе. Применяют для улучшения обрабатываемости резанием и пластических свойств деформируемых заготовок. Эффект улучшения меньше, чем после полного отжига. Низкий отжиг широко применяют для снятия внутренних напряжений.

Нормализация отличается от высокого отжига способом охлаждения — на воздухе. Механические свойства мало- и среднеуглеродистых сталей после нормализации получаются практически такими же, как и после высокого отжига. Легированные конструкционные стали в результате нормализации подкаливаются. Нормализация, как и высокий отжиг, применяется для исправления структуры перегрева и улучшения обрабатываемости прутков и цилиндрических деталей диаметром более 15 мм и штамповок толщиной свыше 20 мм из 30ХГСА, 38ХА, 30ХГСНА. Заготовки меньших толщин вследствие высокой скорости охлаждения приобретают структуры, близкие к закаленным.

Закалка состоит из нагрева стали выше точки A_{c3} , выдержки и быстрого охлаждения. Помимо обычной закалки, при которой охлаждение происходит примерно с постоянной скоростью, применяют изотермическую закалку.

Изотермическая закалка осуществляется охлаждением заготовок, нагретых выше точки A_{c3} , в горячей ванне из щелочи, расплавленной селитры или горячего масла — до полного распада аустенита — и лишь после этого — охлаждением в воде. При правильно подобранной температуре горячей ванны и тщательном проведении процесса в результате изотермической закалки удается без последующего отпуска получить заданные механические характеристики. Применение изотермической закалки вместо обычной с отпуском позволяет повысить предел прочности, ударную вязкость и резко снизить чувствительность к надрезам. Вместе с тем сводится к минимуму коробление деталей.

Изотермическую закалку широко применяют вместо обычной для обработки ответственных деталей из высокопрочных сталей. Ее нельзя применять для заготовок большой толщины, а также име-

ющих закрытые полости, из которых при промывке трудно удалить селитру.

Отпуск заключается в нагреве до температуры, меньшей, чем температуры фазовых превращений, выдержке и охлаждении. Отпуск уменьшает твердость и повышает пластические свойства конструкционных сталей, а также снижает или полностью устраняет внутренние напряжения.

Термическая обработка деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов. Коррозионно-стойкие стали могут быть мартенситного, аустенитного и переходного классов. Для сталей мартенситного класса применяются те же виды термообработки, что и для конструкционных. Стали переходного класса для повышения пластичности при штамповке подвергают нормализации или отжигу. Окончательная термообработка выполняется по сложному циклу: нормализация, обработка холодом при -70°C (для завершения распада аустенита) и искусственное старение при температуре порядка 500°C .

Для упрочнения заготовок из полунагартованного или нагартованного материала применяют искусственное старение. Заготовки из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов аустенитного класса для улучшения пластичности подвергаются нормализации или закалке (для больших сечений). Прочность повышается искусственным старением либо нагартовкой.

Термическая обработка деталей из титановых сплавов. Сплавы ВТ1, ВТ4, ВТ5-1 и ОТ4 не упрочняются термообработкой. Для них применяют отжиг $500 \dots 800^{\circ}\text{C}$ с целью придания наибольшей пластичности при операциях холодного пластического деформирования.

Для сплавов ВТ3-1, ВТ6, ВТ6С, ВТ8, ВТ9, ВТ14, ВТ15, ВТ16, ВТ22, ВТ23, ВТ30, упрочняемых термообработкой, применяют кроме отжига окончательную термическую обработку — закалку с искусственным старением. Температура закалки $750 \dots 900^{\circ}\text{C}$.

Охлаждающую среду (вода, масло, спокойный воздух) выбирают, исходя из необходимости получения заданной структуры при минимальной величине короблений.

Искусственное старение осуществляют длительной выдержкой при $450 \dots 500^{\circ}\text{C}$.

Нагрев титановых сплавов при термообработке осуществляют только в электрических печах обычно с защитной средой или в вакууме.

Термическая обработка деталей из алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы делятся на деформируемые и литейные. Из деформируемых сплавов все марки технически чистого алюминия, а также сплавы типа АМц и АМг не упрочняются термической обработкой. Эти материалы подвергают только высокому или низкому отжигу для полного разупрочнения или для повышения пластичности с сохранением полунагартованного состояния.

Для упрочняемых деформируемых сплавов применяют следующие виды термической обработки.

Закалка производится нагревом до температур порядка 500 °С с охлаждением в воде комнатной температуры. Некоторые марки сплавов допускают охлаждение в кипящей воде, что значительно уменьшает поводку и коробление тонкостенных конструкций.

Скорость нагрева под закалку плакированных материалов должна быть возможно более высокой, чтобы уменьшить диффузию упрочняющих компонентов в плакирующий слой.

Термическая обработка на возврат служит для придания закаленным и состаренным алюминиевым сплавам свойств свежезакаленного состояния. Для этого заготовки подвергают кратковременному нагреву (в течение нескольких секунд или минут) до 200 ... 250 °С. Термообработку на возврат применяют вместо повторной закалки к плакированным алюминиевым сплавам.

Старение. Нарастание прочности после закалки в процессе старения у алюминиевых сплавов различных составов происходит по-разному. У сплавов типа Д1, Д16, Д19 процесс естественного старения завершается за 4 ... 5 суток, причем в первые 1, 5 ... 7 ч пластичность уменьшается незначительно, и в этот период сплавы можно подвергать операциям пластического деформирования. Сплав Д20 практически вообще не упрочняется в результате естественного старения.

Детали из сплава Д16, предназначенные для работы при температурах выше 150 °С, а также из ковочных сплавов АК4, АК6, АК8 и высокопрочного сплава В95 рекомендуется применять в искусственно состаренном состоянии. Искусственное старение осуществляется нагревом и выдержкой в течение нескольких часов при 150 ... 190 °С.

Отжиг применяется в качестве межоперационной термообработки для снятия наклепа и повышения пластичности деформируемых алюминиевых сплавов. Перед последней операцией холодной обработки давлением для упрочняемых алюминиевых сплавов вместо отжига применяют закалку.

Температуры нагрева при отжиге для большинства алюминиевых сплавов находятся в диапазоне 350 ... 400 °С. Время отжига колеблется от нескольких минут до нескольких часов.

Для литейных алюминиевых сплавов наиболее употребительны следующие виды термической обработки: Т1 — искусственное старение, применяемое для ускорения упрочнения сплавов и улучшения механической обрабатываемости резанием; Т2 — отжиг; Т4 — закалка с последующим естественным старением; Т5 — закалка и частичное (неполное) искусственное старение; обработка по режиму Т5 позволяет обеспечить достаточную прочность при сохранении повышенной пластичности и наряду с Т4 получила широкое распространение в качестве окончательной термической обработки; Т6 — закалка и полное старение при более высоких температурах и с большей выдержкой, чем при Т5 (применяется только для

сплава АЛ9); Т7 - закалка и стабилизирующий отпуск для жаропрочных сплавов с целью получения высокой стабильности структуры при достаточной прочности; Т8 — закалка и стабилизирующее старение применяются для получения повышенной пластичности и стабильности геометрических размеров вследствие снижения прочности по сравнению с режимами Т5, Т6, Т7.

Термическая обработка деталей из магниевых сплавов. Сплавы МА1, МА2, МА3, МВ8, МЛ2 и МЛ3 не упрочняются термообработкой. Для них применяют только отжиг с целью снятия наклепа и внутренних напряжений.

Высокопрочный сплав ВМ65-1 упрочняется искусственным старением, остальные сплавы закалкой и последующим искусственным старением.

Уменьшение деформаций и короблений при термообработке. Деформации и коробления возникают в результате тепловых напряжений, являющихся следствием неравномерности нагрева или охлаждения отдельных частей заготовки, структурных напряжений, возникающих из-за изменения объема при фазовых превращениях (например, аустенита в мартенсит) и действия веса на разогретую заготовку.

Для уменьшения деформаций и короблений в процессе нагрева применяют предварительный подогрев, значительно выравнивающий распределение температур по сечению.

Наиболее радикальным средством уменьшения коробления детали малой жесткости и сложной формы является применение специальных приспособлений, в которые зажимаются детали при термообработке.

Глава 10

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАТКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Технологической оснасткой принято называть комплекс дополнительных к оборудованию (станкам, прессам, установкам...) устройств, предназначенных для облегчения и ускорения каких-либо операций процесса изготовления изделия. К технологической оснастке в заготовительно-обработочных цехах будут относиться: станочные приспособления, режущий и вспомогательный инструмент для фрезерных, сверлильных, расточных, токарных, шлифовальных, протяжных и других работ; оправки, сменные ролики, губки, кулачки, бойки; штампы (вырезные, гибочные, вытяжные, комбинированные и др.); устройства подачи заготовок и удаления готовых деталей и отходов из рабочей зоны; обтяжные

нуансоны, формблоки и различные производственные шаблоны, используемые непосредственно для изготовления деталей.

Методика проектирования, конструктивное оформление и процессы изготовления различных видов технологической оснастки будут определяться ее назначением, принятым методом увязки и схемой базирования заготовки (полуфабриката) перед формообразованием детали. Метод увязки по принципу независимого образования форм и размеров деталей предполагает в качестве носителей формы и размеров использование универсальных измерительных инструментов и предельных калибров. Все элементы технологической оснастки в этом случае должны быть образованы поверхностями простых форм (плоскость, цилиндр, конус, сфера), воспроизводимыми оборудованием по указанным на чертежах размерам. Это характерно для станочных приспособлений и многих штампов, широко используемых в заготовительно-обработочных цехах. Для деталей, ограниченных поверхностями сложной формы, обычно принимают метод увязки по принципу связанного образования формы и размеров. При изготовлении оснастки ее формообразующие поверхности копируют с жесткого носителя формы и размеров детали. В зависимости от вида этого носителя будут меняться как методика проектирования, так и процесс изготовления технологической оснастки. Конструктивное оформление и процессы изготовления формблоков, обтяжных нуансонов и другой технологической оснастки, применяемой в заготовительно-штамповочных цехах, см., например, в работе [19].

В заготовительно-обработочных цехах наиболее сложной составляющей технологической оснастки как по применяемым схемам базирования и закрепления заготовок, так и разнообразию конструктивного оформления элементов являются станочные приспособления [5].

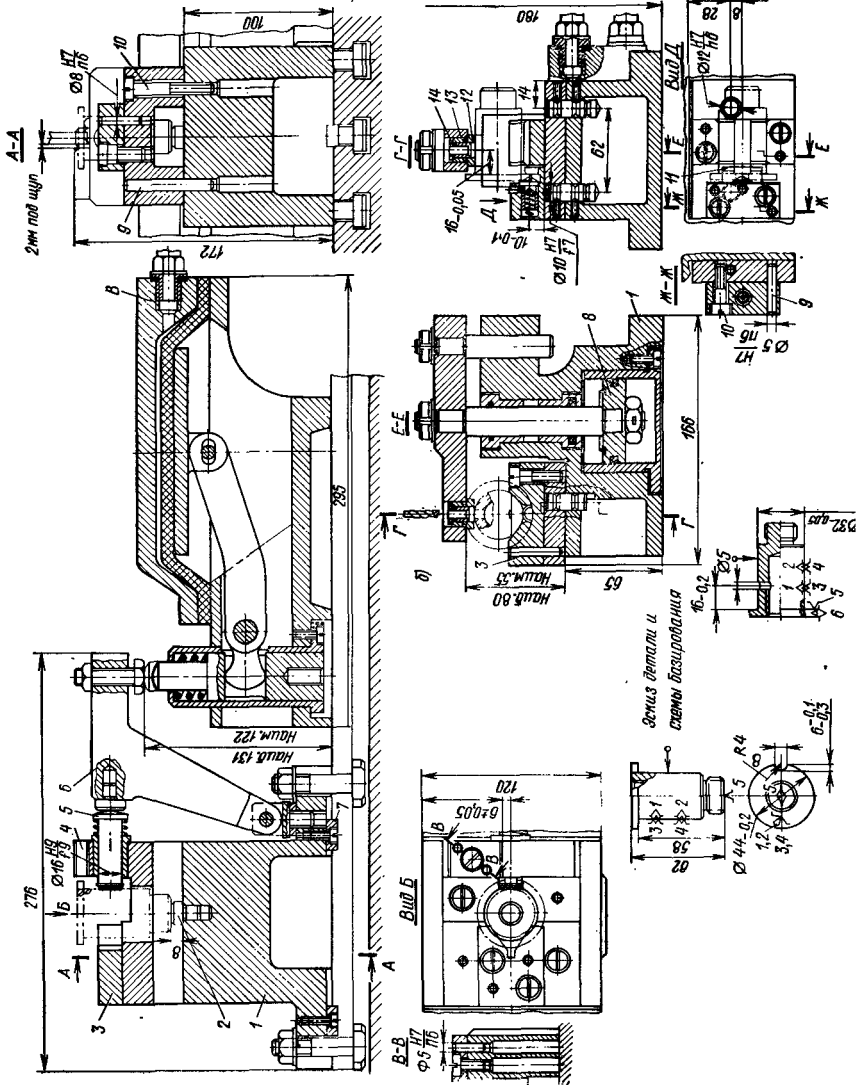
§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

При изготовлении деталей на металлорежущих станках большая часть вспомогательного времени уходит на установку и закрепление заготовки, а также на открепление готовой детали. Затраты времени на эти действия сокращаются благодаря широкому применению быстродействующих станочных приспособлений. С их помощью решаются три основные задачи: обеспечивается без выверки правильное положение обрабатываемой заготовки относительно режущего инструмента и заданная точность обработки; повышается производительность и облегчаются условия труда рабочих; расширяются технологические возможности станков, что позволяет на обычных станках выполнять такую обработку или получать такую точность, для которых эти станки не предназначены.

Станочные приспособления должны быть более точными по сравнению с обрабатываемым полуфабрикатом по выполняемым

Рис. 10.1. Приспособление для фрезерования (а) и сверления (б);

1 — корпус; 2, 3 и 11 — штырь, призма и упор (опорные элементы); 4 и 7 — установочная деталь (установочные элементы); 5 и 6 — контактная деталь (контактные элементы); 8 — рычаг (эластичный элемент); 9 — штифт и винт (крепящие элементы); 12 и 13 — втулка (контактная деталь) и проводящая плита (передающее звено); 14 — направляющий элемент (направляющий элемент).



размерам (примерно на один класс), жесткими по конструкции, безопасными и удобными в работе.

Станочные приспособления принято разделять по назначению на три класса: универсальные (безналадочные и наладочные); специализированные или групповые; специальные (разборные и сборно-разборные). Специальные станочные приспособления в общем случае состоят из следующих основных частей:

корпусы (моноплитные и сборные), на которых монтируются все остальные элементы приспособления;

установочные элементы (шпонки, установы), определяющие положение приспособления относительно станка;

опорные элементы (штыри, пластины, призмы), определяющие положение заготовки в приспособлении;

направляющие элементы (кондукторные втулки, колонки) для точного направления обрабатывающего инструмента или подвижных частей приспособления;

зажимные элементы для закрепления заготовки в приспособлении (контактные детали и передаточные звенья);

силовые приводы (ручные и механизированные);

крепежные элементы (болты, винты, штифты).

На рис. 10.1 показаны приспособления для фрезерования и сверления. Их конструкция определяется назначением приспособления и схемой базирования заготовки.

§ 2. БАЗИРОВАНИЕ ЗАГОТОВКИ В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Свободное твердое тело имеет шесть степеней свободы: перемещения вдоль и повороты вокруг трех взаимно перпендикулярных осей. При обработке какой-либо поверхности заготовки последняя путем закрепления лишается всех степеней свободы относительно приспособления, определяющего положение этой заготовки в системе станок—приспособление—инструмент—деталь (СПИД). Очевидно, что до закрепления заготовка должна занимать в приспособлении вполне определенное и устойчивое положение. Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется *базированием*. А точку, символизирующую одну из связей заготовки с избранной системой координат, называют *опорной точкой*. При базировании в общем случае достаточно иметь шесть опорных точек, расположенных определенным образом, которые обеспечивают полную ориентацию заготовки в пространстве. Отсюда вытекает известное «правило шести точек».

На практике такая определенность базирования требуется не всегда. Условия получения точных форм и размеров часто позволяют оставлять заготовке при базировании в приспособлении возможность перемещения вдоль или поворота (перемещения и поворота) вокруг какой-либо оси. Например, при фрезеровании сквозного паза в плите ее положение в направлении оси паза с ука-

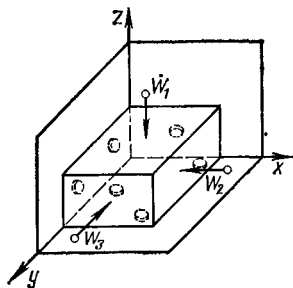
занной точки зрения безразлично и определяется удобствами установки.

Уменьшение количества ограничений на ориентацию заготовки в пространстве облегчает как ее установку на станке, так и конструирование приспособления для этой установки. Чем больше ограничений накладывается на заготовку при ее базировании, тем сложнее приспособление. Поэтому, разрабатывая задание на конструирование приспособления, технолог должен исходить из следующего основного принципа: лишать заготовку при базировании в приспособлении лишь тех перемещений, которые могут вызвать искажения по выдерживаемым размерам.

Основные схемы базирования и конструктивные формы опорных элементов

Поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точку, принадлежащую заготовке или изделию и используемую для базирования, называют *базой*. Большинство деталей машин ограничено простейшими поверхностями — плоскими, цилиндрическими, коническими, которые и используют в качестве баз. Базам заготовки соответствуют опорные поверхности (элементы) приспособления. Опорные элементы подразделяют на основные опоры, определяющие положение заготовки относительно корпуса приспособления, а следовательно, относительно станка и инструмента, и вспомогательные опоры, предотвращающие деформацию заготовки в процессе обработки и не влияющие на положение опорных элементов в приспособлении. Конструктивное оформление опорных элементов зависит от вида (плоскость, цилиндр), шероховатости и точности баз заготовки.

Схема базирования заготовок по плоским поверхностям. Установка заготовки в приспособлении по плоским поверхностям (рис. 10.2) предусматривает, как правило, использование *установочной* xy базы заготовки (три опорных точки на поверхности, имеющей наибольшие габаритные размеры), *направляющей* yz базы (две опорных точки на поверхности наибольшей протяженности) и опорной xz (одна опорная точка).



В качестве основных опор применяют штыри с плоской, сферической или насеченной головкой и пластины, показанные на рис. 10.3. Отверстия под штыри в корпусе приспособления выполняют сквозными. При наличии нескольких опорных площадок (плоских) в одной плоскости их обрабатывают (шлифуют) совместно.

Рис. 10.2. Схема базирования заготовки по плоским поверхностям:

W_1, W_2, W_3 — силы зажима

Иногда (для сокращения времени на ремонт приспособления) в отверстия корпуса под штыри запрессовывают стальные закаленные втулки (рис. 10.3, а).

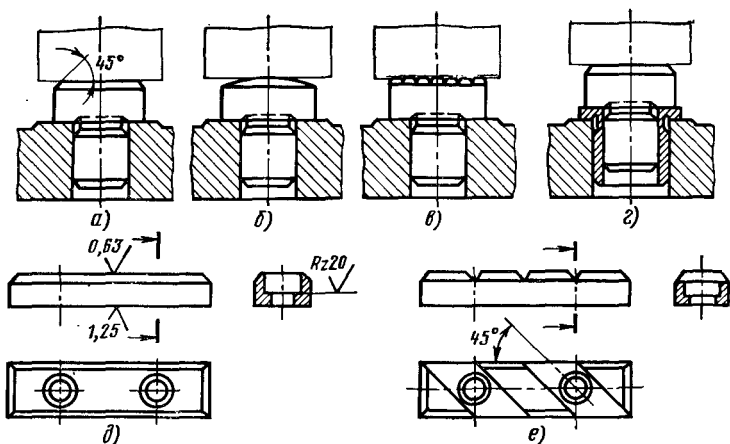


Рис. 10.3. Опорные штыри (а, б, в, г) и опорные пластины (д, е)

Выбор типа и размеров жестких опор зависит от размеров и состояния баз (установочных, направляющих и опорных):

а) заготовки с обработанными плоскостями больших размеров устанавливают на пластины, а меньших — на штыри с плоской головкой;

б) заготовки с необработанными поверхностями независимо от размеров устанавливают на штыри со сферической или насеченной головкой.

Пластины с отверстиями на контактной поверхности и штыри с насеченной головкой целесообразно закреплять на вертикальных стенках корпуса; при перемещении устанавливаемой заготовки стружка сдвигается с опорной поверхности в углубления (косые пазы) пластины и не нарушает контакта при установке.

Для предотвращения прогиба длинных или деформации нежестких заготовок от усилия резания применяют вспомогательные опоры (рис. 10.4): регулируемые винтовые (а); подводимые (б) с контактной деталью (плунжер), которая фиксируется в определенном положении при помощи передвижного клина; самоустанавливающиеся (в) с контактной деталью (плунжер), которая самоустанавливается под действием пружины и фиксируется зажимным винтом.

Вспомогательные опоры или подводят к поверхностям заготовок (подводимая опора), или закрепляют (самоустанавливающаяся опора) после установки заготовки на основных опорах. Зажимные элементы следует располагать в одной плоскости с основными опорами.

Схема базирования заготовок по наружным цилиндрическим поверхностям. При установке заготовки в приспособлении по наружным цилиндрическим поверхностям в качестве основных

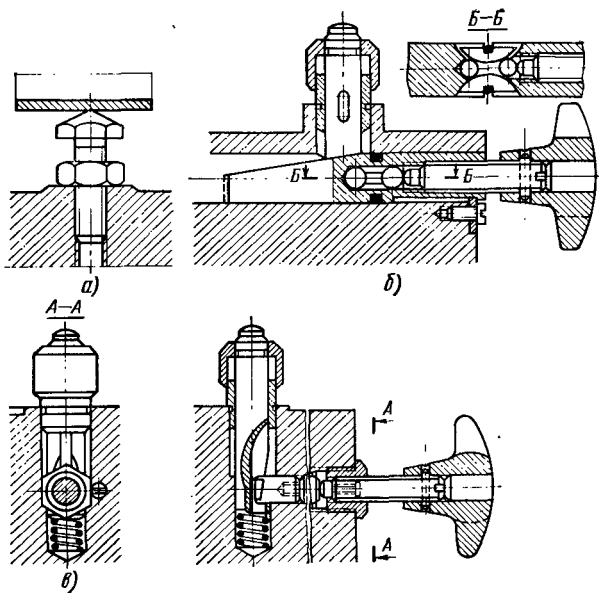


Рис. 10.4. Вспомогательные опоры

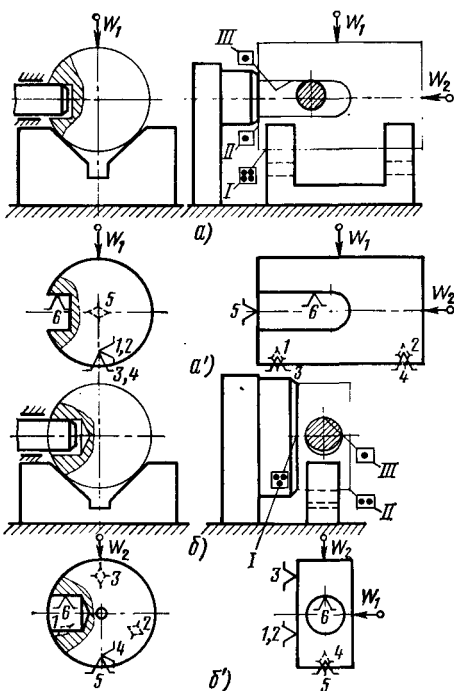
опор применяют призмы, эквивалентные четырем опорным точкам при базировании длинных цилиндрических заготовок и двум опорным точкам при базировании коротких цилиндрических заготовок (диски, кольца). Ориентирование цилиндрических заготовок в угловом положении относительно продольной оси возможно при наличии в их конструкции шпоночной канавки или отверстия, поверхности которых выполняют при базировании функции опорных баз (рис. 10.5).

На рис 10.6 показаны конструкции призм, используемые для базирования заготовок по наружным цилиндрическим поверхностям. В отличие от опорных штырей и пластин призмы при сборке необходимо точно устанавливать в заданном положении, так как даже небольшое смещение их в сторону приводит к погрешностям. Поэтому, кроме крепежных винтов 1 (рис. 10.6, а), положение призм фиксируют дополнительно двумя контрольными штифтами 2, которые без зазора устанавливают в отверстия призм и корпуса. При установке ступенчатых валов, а также заготовок с черновой цилиндрической поверхностью рабочие поверхности призм делают узкими (рис. 10.6, б). Крупные заготовки устанавливают на чугунные или сварные призмы со сменными стальными закаленными пластинами на наклонных плоскостях.

В сборных конструкциях с двумя и более призмами, используемыми для установки одной заготовки, рабочие поверхности всех призм шлифуют совместно.

Рис. 10.5. Схемы базирования длинных (*a'*) и коротких (*b'*) цилиндрических заготовок:

a — положение длинной заготовки в приспособлении; *W₁* — двойная направляющая база (четыре опорных точки); *II* — опорная база (одна опорная точка); *III* — вторая опорная база; *b* — положение короткой заготовки в приспособлении; *I* — установочная база (три опорных точки); *II* — двойная опорная база (две опорных точки); *III* — опорная база (одна опорная точка); *I...6* — опорные точки



Схемы базирования заготовок по плоским и внутренним цилиндрическим поверхностям. При установке заготовок по внутренним цилиндрическим поверхностям в качестве опор применяют цилиндрические, конические и срезанные пальцы. Высокий цилиндрический палец (жесткая оправка) эквивалентен четырем опорным точкам (рис. 10.7), низкий цилиндрический и конический пальцы — двум, низкий срезанный и конический срезанный пальцы — одной (рис. 10.8), а высокий срезанный (ромбический) — двум (рис. 10.9).

Срезанные пальцы применяют в комбинации с цилиндрическими или коническими пальцами в случае базирования заготовки по плоскости и двум отверстиям (см. рис. 10.8); их также применяют в качестве опор при базировании заготовки по плоскости

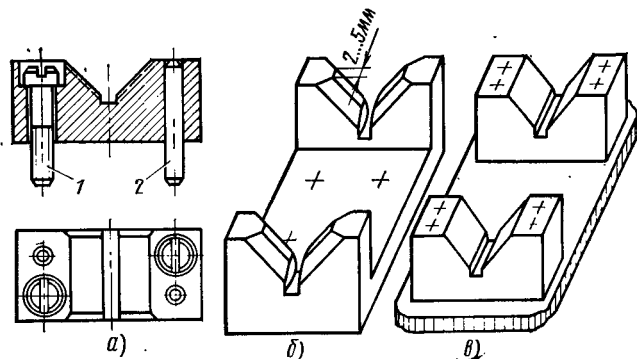


Рис. 10.6. Опорные призмы для установки заготовок по внешним цилиндрическим поверхностям:

a — призма для установки коротких заготовок или как элемент сборной призмы; *б, в* — соответственно призма с выемкой и сборная призма для установки длинных заготовок

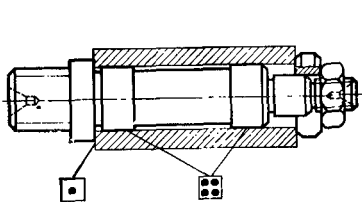


Рис. 10.7. Схема базирования заготовок на жесткой оправке по отверстию (двойная направляющая база) и торцу (опорная база)

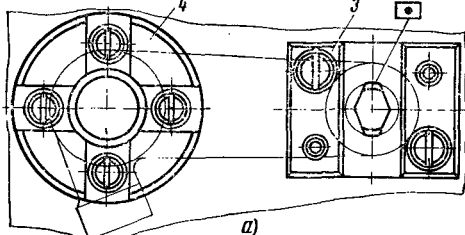
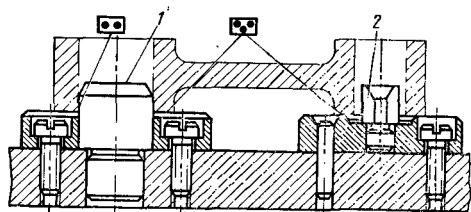
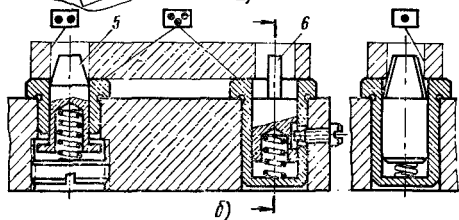


Рис. 10.8. Схемы базирования заготовки по плоскости (установочная база) и двум отверстиям: *а* — на жесткие пальцы; *б* — на плавающие конические пальцы; 1 — низкий цилиндрический палец; 2 — низкий ромбический палец; 3 — опорная планка; 4 — опорная шайба; 5 — плавающий конический палец; 6 — плавающий конический срезающий палец



и отверстию (см. рис. 10.9). Срезание пальцев облегчает установку на них заготовок вследствие того, что в направлении, перпендикулярном срезу, дополнительный зазор компенсирует погрешность в расстояниях между базами заготовки и соответствующими опорными элементами приспособления. Формы среза, сохраняющие по возможности максимальную прочность пальца в зависимости от

размеров его поперечного сечения, показаны на рис. 10.10. С уменьшением размера *b* компенсирующий зазор увеличивается. Однако из условия износоустойчивости цилиндрическую часть пальца рекомендуется оставлять возможно более широкой.

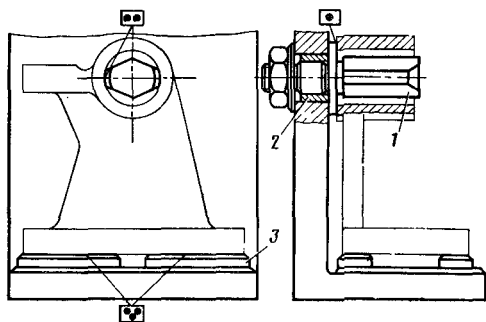
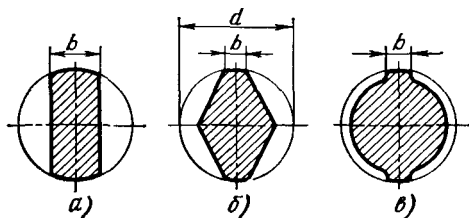


Рис. 10.9. Схема базирования заготовки по плоскости (установочная база), отверстию (направляющая база) и торцу (опорная база): 1 — высокий ромбический палец с буртиком; 2 — втулка; 3 — пластина

Оптимальную величину *b* рассчитывают, исходя из условия возможности установки заготовки на два пальца или на плоскость и палец. Рассмотрим это условие для наилучшего случая (рис. 10.11), когда межцентровое расстояние

Рис. 10.10. Формы среза пальца:

a — для пальцев с $d > 50$ мм; *b*, *в* — для пальцев с $d \leq 50$ мм



отверстий у заготовки выполнено по наибольшему предельному размеру $(L + \frac{1}{2} \delta_0)$, межцентровое расстояние пальцев — по наименьшему $(L - \frac{1}{2} \delta_{II})$, а зазоры в сопряжении отверстий с пальцами получились минимальными (z_{1min} , z_{2min}). Из рис. 10.11 следует, что установка заготовки на цилиндрический и срезанный пальцы возможна в том случае, если соблюдается условие

$$O_1 O_2 - \frac{1}{2} d_1 - O_2 E \geq O_1 O_2' - \frac{1}{2} (D_1 + D_2),$$

которое после преобразования имеет вид

$$z_1 \min + 2AC - b \geq \delta_0 + \delta_{II}. \quad (10.1)$$

Из треугольников $O_2 AB$ и $O_2' AC$

$$(O_2 B)^2 = (O_2 A)^2 - \frac{1}{4} b^2; \quad (O_2' C)^2 = (O_2 B)^2 = (O_2' A)^2 - (AC)^2,$$

откуда

$$AC = \frac{b}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{b^2} (D_2^2 - d_2^2)} \approx \frac{b}{2} \left[1 + \frac{d_2}{2b^2} \left(\frac{D_2}{d_2} + 1 \right) z_2 \min \right]$$

или, полагая $D_2/d_2 = 1$, а $d_2/b^2 \approx d/b^2$, где d — номинальный размер срезанного пальца,

$$AC = \frac{1}{2} \left(b + \frac{d}{b} z_2 \min \right).$$

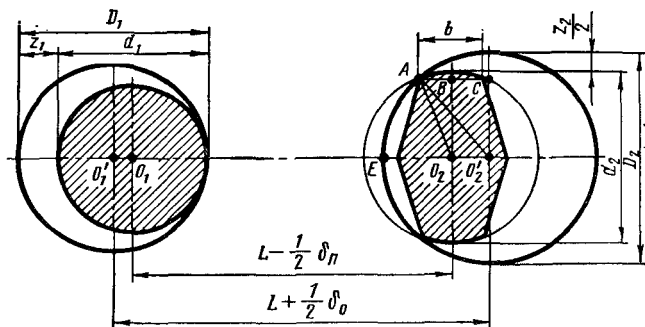


Рис. 10.11. Расчетная схема для случая установки заготовки на цилиндрический и срезанный пальцы:

L — номинальный размер межцентрового расстояния; δ_0 , δ_{II} — допуски на межцентровые расстояния отверстий и пальцев; D_1 , D_2 — наименьшие размеры отверстий заготовки; d_1 , d_2 — наибольшие размеры цилиндрического и срезанного пальцев; z_1 , z_2 — зазоры между отверстиями и пальцами

Подставляя найденное значение AC в формулу (10.1), получим условие возможности установки заготовки на цилиндрический и срезанный пальцы

$$z_1 \min + \frac{d}{b} z_2 \min \geq \delta_o + \delta_{\Pi}, \quad (10.2)$$

откуда

$$b \leq \frac{z_2 \min}{\delta_o + \delta_{\Pi} - z_1 \min} d. \quad (10.3)$$

Если не прибегать к срезу пальца, то допуски межцентровых расстояний можно перекрыть только достаточно большими зазорами выбранных посадок, что вызовет недопустимые смещения заготовки относительно пальцев. Указанные смещения исключаются вообще при использовании в качестве опорных элементов для установки заготовки по плоскости и отверстиям плавающих конических пальцев (см. рис. 10.8, б).

Условие для возможности установки и оптимальную ширину цилиндрического участка срезанного пальца для случая базирования заготовки по плоскости и отверстию (см. рис. 10.9) получим соответственно из формул (10.2) и (10.3), приняв $z_1 \min = 0$:

$$\frac{d}{b} z_{\min} \geq \delta_{\text{пл. о}} + \delta_{\text{пл. п}}; \quad (10.4)$$

$$b \leq \frac{z_{\min}}{\delta_{\text{пл. о}} + \delta_{\text{пл. п}}}, \quad (10.5)$$

где $\delta_{\text{пл. о}}$ — допуск на расстояние L между установочной базой заготовки и осью отверстия; $\delta_{\text{пл. п}}$ — то же между спорной плоскостью приспособления и осью срезанного пальца.

Допуски $\delta_{\text{пл. п}}$ и $\delta_{\text{пл. о}}$ задаются в зависимости от требуемой точности в пределах $\frac{1}{5} \dots \frac{1}{2}$ от δ_o и $\delta_{\text{пл. о}}$.

Базирование по коническим поверхностям. Длинная коническая поверхность является одновременно двойной направляющей и опорной базой. При установке по такой поверхности заготовка может поворачиваться лишь относительно продольной оси. Для ориентирования заготовки в угловом положении требуется еще одна поверхность под штифт или шпонку (опорная база).

При установке заготовки в центрах станка или приспособления используются короткие конические отверстия. Поверхность одного из них эквивалентна трем опорным точкам, а другого — двум опорным точкам.

Из анализа основных схем следует, что для полной ориентации заготовки в пространстве необходим комплект из трех (иногда двух) поверхностей, несущих шесть опорных точек. При грубо обработанных или черновых поверхностях излишние опоры делают установку статически неопределенной и не повышают, а понижают точность базирования.

Количество опор и их расположение выбирают в соответствии со схемой базирования. Во всех случаях при конструировании приспособлений необходимо предусматривать легкое удаление стружки с опор.

Погрешность базирования

Погрешностью базирования называется отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого. В зависимости от полученных в предыдущих операциях неточностей формы и размеров поверхностей, составляющих технологическую базу, будет изменяться положение конструкторской базы относительно опорных элементов приспособления. Погрешность базирования по величине будет равна проекции смещения конструкторской базы на направление заданного размера детали.

Принципиально всегда можно наметить такую схему приспособления, при которой погрешность базирования сводилась бы к нулю. Но это бывает иногда сопряжено с необходимостью применения сложных и часто малопроизводительных приспособлений. Использование более простых схем установки, но с нарушением правила единства баз, возможно при условии, что погрешность базирования с прочими погрешностями обработки не превысит допуска на выполняемый размер. В таких случаях для обеспечения заданной точности выполняемого размера технологу приходится устанавливать технологические допуски и предельные значения базисных размеров, отличные от указанных в чертеже детали.

Приближенное значение допустимой величины погрешности базирования определяют из выражения

$$\delta_b \leq \delta_p - \delta_s, \quad (10.6)$$

где δ_b — допустимая величина допуска на погрешность базирования; δ_p — допуск на выполняемый размер; δ_s — допуск на суммарную погрешность (без погрешности базирования), который для получаемого в данной операции размера определяют по таблицам средней экономической точности соответствующего метода обработки (погрешности закрепления, настройки, обработки).

Действительный, или фактический, допуск на погрешность базирования δ_ϕ должен быть меньше допустимого, т. е.

$$\delta_\phi \leq \delta_b. \quad (10.7)$$

Фактическую погрешность базирования в каждом конкретном случае определяют геометрическими расчетами исходя из допусков на базисные размеры.

Анализ типовых схем базирования

Погрешности базирования при установке заготовок плоскостью. Погрешность базирования равна нулю и не входит в суммарную погрешность получаемого при фрезеровании размера $A \pm 0,15$ (рис. 10.12, а), если плоскость 1 является конструкторской и технологической базой по отношению к обрабатываемой

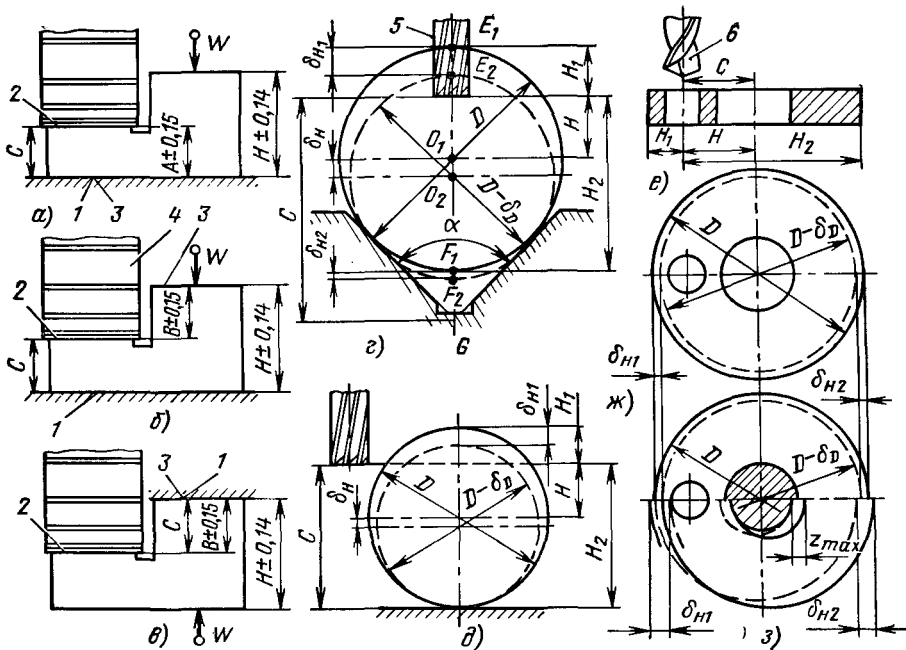


Рис. 10.12. Схемы для расчета погрешностей базирования:

a, б, в, д — при установке заготовок на плоскость; *г* — при установке цилиндрических заготовок на призму; *е* — при установке в кулачках самоцентрирующего патрона; *ж, з* — при установке на жесткую оправку соответственно с натягом и зазором; *1* — установочная база; *2* — обрабатываемая плоскость; *3* — конструкторская база; *4* — дисковая фреза; *5* — концевая фреза; *6* — сверло; *C* — настроечный размер

плоскости 2. В случае несовпадения конструкторской и технологической баз (рис. 10.12, б) положение конструкторской базы (плоскость 3) при неизменном в процессе обработки партии заготовок настроечном размере ($C = \text{const}$) будет колебаться относительно лезвий фрезы в пределах допуска 0,28 мм на базисный размер H , полученный в предыдущей операции. Допуск на базисный размер и будет допуском на действительную погрешность базирования $\delta_{\phi} = 0,28$ мм.

Приняв по табличным данным $\delta_{\phi} = 0,1$, получим, что допустимая величина допуска на погрешность базирования меньше фактической:

$$\delta_{\phi} = \delta_B - \delta_{\phi} = 0,3 - 0,1 = 0,2 < \delta_{\phi}.$$

Чтобы выполнить размер B в пределах заданного допуска, необходимо или исключить погрешность базирования, выполнив установку по схеме, показанной на рис. 10.12, в, или перерассчитать допуски. Технолог не может увеличить допуск на размер B без согласования с конструктором. Остается возможность уменьшить допуск на базисный размер H , приравняв его δ_{ϕ} , т. е. 0,2 мм.

Новый допуск в виде отклонений указывается технологом на операционном эскизе, который и выдается на рабочее место взамен чертежа. В данном случае на операционном эскизе должны быть указаны размеры $B \pm 0,15$ и $H \pm 0,1$.

Погрешности базирования при установке заготовок цилиндрической поверхностью. На рис. 10.12, *г* показана схема установки партии валов диаметром от D до $D - \delta_D$ на призму для фрезерования паза с заданием размера до его нижней плоскости от различных конструкторских баз. Так как во всех трех случаях конструкторские базы (ось вала, верхняя и нижняя образующие) не совпадают с технологической (поверхности контакта вала с призмой), то по размерам H , H_1 и H_2 неизбежны погрешности базирования. Допуски δ_H , δ_{H_1} и δ_{H_2} на погрешности базирования по величине равны колебаниям в положении конструкторских баз, зависящим от допуска δ_D на диаметр устанавливаемых валов и угла призмы α . Из геометрических построений находим

$$\delta_H = O_1G - O_2G = 0,5D \operatorname{csc} \frac{\alpha}{2} - 0,5(D - \delta_D) \operatorname{csc} \frac{\alpha}{2} = 0,5\delta_D \operatorname{csc} \frac{\alpha}{2}; \quad (10.8)$$

$$\begin{aligned} \delta_{H_1} = E_1G - E_2G &= 0,5D \left(1 + \operatorname{csc} \frac{\alpha}{2}\right) - 0,5(D - \delta_D) \left(1 + \operatorname{csc} \frac{\alpha}{2}\right) = \\ &= 0,5\delta_D \left(\operatorname{csc} \frac{\alpha}{2} + 1\right); \end{aligned} \quad (10.9)$$

$$\begin{aligned} \delta_{H_2} = F_1G - F_2G &= 0,5D \left(\operatorname{csc} \frac{\alpha}{2} - 1\right) - 0,5(D - \delta_D) \left(\operatorname{csc} \frac{\alpha}{2} - 1\right) = \\ &= 0,5\delta_D \left(\operatorname{csc} \frac{\alpha}{2} - 1\right). \end{aligned} \quad (10.10)$$

В случае установки валов на плоскость (рис. 10.12, *д*), например, для фрезерования поперечного паза, угол $\alpha = 180^\circ$, а соответственные допуски на погрешности будут

$$\delta_H = 0,5\delta_D; \quad \delta_{H_1} = \delta_D; \quad \delta_{H_2} = 0.$$

На рис. 10.12, *е* диск при сверлении отверстия закреплен кулачками самоцентрирующего патрона. Если конструкторской базой является ось диска, совпадающая всегда с осью патрона, относительно которой установлено сверло, то $\delta_H = 0$. Допуски на погрешности базирования по размерам H_1 и H_2 , как следует из приведенной схемы, равны $\delta_{H_1} = \delta_{H_2} = 0,5\delta_D$.

При установке диска отверстием на жесткую оправку с натягом или цанговую разжимную оправку (рис. 10.12, *ж*) допуски на погрешности базирования, как и в предыдущем случае, будут

$$\delta_H = 0; \quad \delta_{H_1} = \delta_{H_2} = 0,5\delta_D.$$

Предполагая, что в сопряжении диска с оправкой возможен зазор z_{\max} (рис. 10.12, *з*), получим

$$\delta_H = z_{\max}; \quad \delta_{H_1} = \delta_{H_2} = 0,5\delta_D + z_{\max}.$$

§ 3. ЗАЖИМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И МЕХАНИЗМЫ

Опорные элементы, рассмотренные ранее, позволяют в требуемом положении ориентировать заготовку относительно станка, но не сохраняют это положение при действии сил резания в процессе обработки. Поэтому для фиксации заготовки в приспособлении в дополнение к опорным элементам необходимы зажимные устройства, которые должны быть надежными в работе и быстродействующими. Точки приложения и направления сил зажима W намечают с учетом действия сил резания P_p и их моментов M_p , имея в виду, что более надежно заготовка фиксируется в приспособлении при минимальной силе зажима в том случае, когда сила резания действует в направлении опоры. Силы зажима должны быть достаточными для предотвращения смещения и вибраций заготовки в процессе обработки. Под действием сил зажима закрепляемая заготовка деформируется, что приводит к дополнительным погрешностям обработки. Поэтому составляемое технологом задание на конструирование приспособления, кроме схемы базирования, должно содержать и обоснованную расчетами схему закрепления и указания о предельных значениях зажимных усилий.

Величину потребных сил зажима определяют, решая задачу статики на равновесие твердого тела под действием приложенных к нему сил и их моментов, включая реакции опор. Силы резания и моменты рассчитывают по известным из теории резания металлов зависимостям или находят по таблицам нормативов, а затем увеличивают их на коэффициент запаса $k = 1,5 \dots 2,5$, учитывающий неравномерность припуска, повышенную твердость заготовки и затупление инструмента; меньшее значение k берут при чистовой обработке, большее — при черновой.

Средние значения коэффициента трения (сцепления) при расчетах принимают:

при контакте обработанных поверхностей с гладкими опорными поверхностями $f = 0,1 \dots 0,15$; при контакте необработанных поверхностей со сферическими опорными поверхностями $f = 0,2 \dots 0,3$; при контакте с закаленными рифлеными опорными поверхностями (штыри с насеченной головкой, губки кулачков и т. п.) $f \leq 0,7$ в зависимости от рисунка и глубины насечки.

Действительные силы зажима, развиваемые силовыми механизмами, должны быть равны или несколько больше потребных. Эти силы W_ϕ зависят от величины исходной силы Q на рукоятке или штоке привода и передаточного отношения сил i выбранного механизма

$$W_\phi = Qi. \quad (10.11)$$

При расчете механизмов с ручным приводом исходная сила принимается в пределах $49 \dots 147 \text{ Н}$ ($5 \dots 15 \text{ кгс}$).

На рис. 10.13 приведены некоторые характерные схемы закрепления заготовок в приспособлениях при различных видах обработки и формулы для определения потребных усилий зажима.

Силы зажима передаются на обрабатываемую заготовку при помощи зажимных устройств, которые состоят из контактных деталей 1 и передаточных звеньев 2 (рис. 10.14).

Контактные детали имеют непосредственное соприкосновение с поверхностями заготовки при ее закреплении в приспособлении. Для предотвращения деформации обрабатываемой заготовки контактные детали следует располагать в приспособлении против

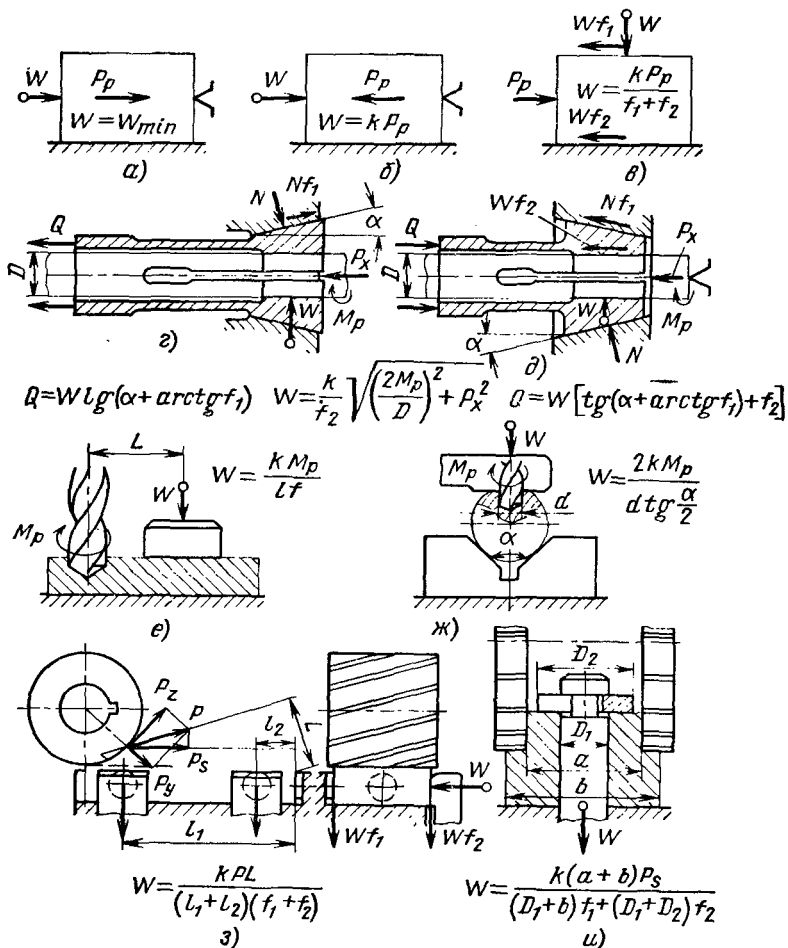


Рис. 10.13. Схемы закрепления заготовок в приспособлениях и формулы для определения потребных усилий зажима:

а — направления сил зажима и резания совпадают; б — направления сил зажима и резания взаимно перпендикулярны; в, д — закрепление в цапговом патроне соответственно без упора и с упором заготовки (P_x — осевая составляющая силы резания); е, ж — закрепление заготовки соответственно на плоскости и в призме (силы зажима определены без учета силы подачи); з — закрепление заготовки прихватами при фрезеровании цилиндрической фрезой (P_y, P_z — соответственно радиальная и окружная составляющие силы резания P); и — закрепление заготовки центральным торцовым зажимом при обработке двумя дисковыми фрезами (P_S — сила подачи)

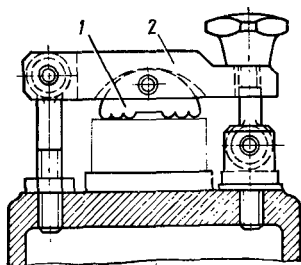


Рис. 10.14. Зажимное устройство с откидной планкой

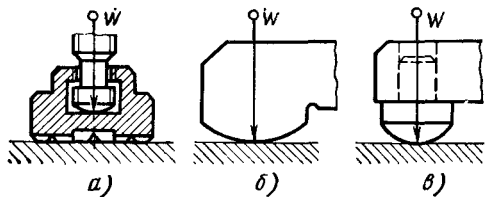


Рис. 10.15. Контактные детали:
a — с плоской рифленной поверхностью; *b* — с цилиндрической поверхностью; *v* — со сферической поверхностью

основных опор. В случае закрепления нежестких заготовок это требование является обязательным. Контактные детали при закреплении заготовки не должны сдвигать или сминать ее.

Поверхности контактных деталей, соприкасающиеся с закрепляемой заготовкой, бывают плоскими, цилиндрическими или сферическими (рис. 10.15). Контактные детали с плоскими и цилиндрическими (как гладкими, так и рифлеными) поверхностями выполняются также плавающими (рис. 10.15, *a*). Это позволяет за счет их самоориентации относительно поверхности закрепляемой заготовки передавать усилие зажима на большую ее площадь и тем самым предотвращать смятие заготовки.

Передаточные звенья передают усилие привода на контактные детали и могут быть как металлическими, так и из гидропластмассы. Металлические передаточные звенья иногда одновременно выполняют функции и контактных деталей. Однако в этом случае (вследствие отличия заготовок по размерам в пределах допуска) в приспособлении можно одновременно закрепить лишь одну заготовку (рис. 10.16).

В приспособлениях для группового закрепления заготовок в качестве передаточного звена широко применяют гидропластмассы марок СМ, ДМ и МАТИ-1-4, состоящие из полихлорвиниловой смолы, дибутилфталата (пластификатор) и стеарата кальция (стабилизатор). В состав гидропластмассы МАТИ-1-4, кроме этого, еще входит и вакуумное масло. Благодаря наличию смолы гидропластмасса хорошо передает давление, не прилипает к стенкам и не изменяется с течением времени.

Обладая большой вязкостью, гидропластмассы не просачиваются в зазоры даже при значительном давлении и в то же время почти равномерно передают его на контактные детали.

Перед заливкой расплавленной массы в приспособление последнее для сохранения лучшей текучести массы в процессе заливки прогревают до температуры 100 ... 120 °С. Для выхода воздуха из полости при заливке гидропластмассы в корпусе предусматривают отверстие, закрываемое винтом-заглушкой.

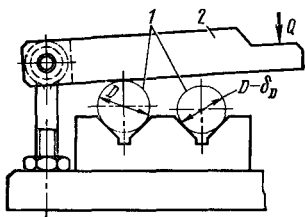


Рис. 10.16. Схема зажимного устройства с передаточно-контактным звеном:

1 — закрепляемая заготовка;
 2 — передаточно-контактное звено

Гидропластмассы применяют в разнообразных по конструктивному оформ-

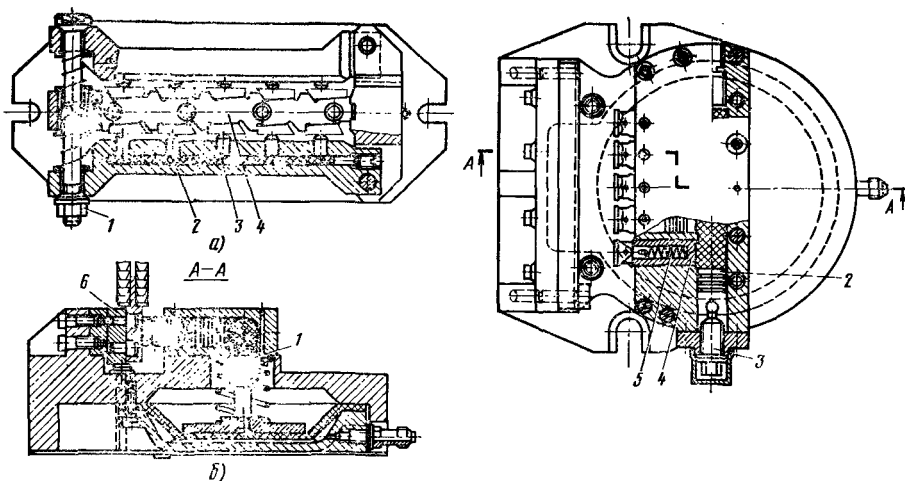


Рис. 10.17. Приспособления для группового закрепления заготовок с гидропластмассой в качестве передаточного звена

лению приспособлениях. На рис. 10.17, а показано приспособление для группового закрепления заготовок, в котором контактные элементы — плунжеры 3 — размещены в отверстиях откидных планок 2, стягиваемых болтом с гайкой 1. Сила зажима гайки передается на планки 2 и через гидропластмассу на плунжеры 3, которые одновременно и равномерно прижимают заготовки к опорной пластине 4.

Перемещение контактных элементов, размещенных в неподвижной части корпуса (см. рис. 10.17, б) приспособления, осуществляется через гидропластмассу нажимными плунжерами 1 или 2, связанными соответственно с пневматическим приводом либо с винтом 3 (при отсутствии сжатого воздуха). После снятия давления с гидропластмассы контактные плунжеры 4 отводятся в исходное положение пружинами 5.

Для быстрой установки заготовки в приспособление служат сменные кассеты 6. На каждый типоразмер заготовки имеются две кассеты, одна из которых в процессе работы находится в приспособлении, а другая заряжается новыми заготовками.

На наружных поверхностях плунжеров протачивают неглубокие канавки, которые в процессе эксплуатации приспособления заполняются гидропластмассой и образуют лабиринтное уплотнение.

Диаметр D и перемещение L_W контактных элементов (плунжеров), диаметр d и ход L_Q нажимного плунжера определяют из условия равновесия потребных сил зажима и усилия Q , развиваемого силовым приводом, а также равенства смещенных объемов гидропластмассы по следующим формулам:

$$\frac{D}{d} = \sqrt{\frac{W+P}{\eta Q}}; \quad (10.12)$$

$$L_Q = L_W \left(\frac{D}{d}\right)^2 n. \quad (10.13)$$

где W — сила зажима каждым контактным элементом; P — сопротивление возвратных пружин; η — КПД зажимного механизма ($\eta = 0,90 \dots 0,95$), учитывающий потери на трение; n — количество контактных элементов.

Для заполнения каналов многоплунжерных механизмов применяют гидропластмассу марки ДМ, которая в подвижных сопряжениях под давлением 12,3 МПа (125 кгс/см²) начинает просачиваться через зазор 0,01 мм. Поэтому при сопряжении плунжеров диаметром 10 ... 20 мм с отверстиями корпуса допускаемое в камере гидростатическое давление q_r не должно превышать соответственно 9,8 ... 5,9 МПа (100 ... 60 кгс/см²), т. е. необходимо, чтобы кроме (10.12), (10.13) выполнялось условие

$$\frac{4\eta Q}{\pi d^2} = \frac{4(W + P)}{\pi D^2} \leq q_r. \quad (10.14)$$

В ряде случаев зажимные элементы являются одновременно и опорными, т. е. они не только зажимают заготовки, но и определенным образом ориентируют их в приспособлении. Такие элементы называются *опорно-зажимными*. Зажимные механизмы с опорно-зажимными элементами могут применяться для ориентирования заготовки по одной плоскости симметрии (ориентирующие механизмы) либо по двум взаимно перпендикулярным плоскостям (самоцентрирующие механизмы).

Для ориентирования и центрирования заготовок некруглой формы часто используют механизмы с призмами. В ориентирующих механизмах одна призма выполняется неподвижной или регулируемой, а другая — подвижной (рис. 10.18); в самоцентрирующих обе призмы подвижные и перемещаются навстречу друг другу. Для надежного прилегания установочной базы заготовки к опорным элементам приспособления в ориентирующих и самоцентрирующих механизмах часто применяют призмы со скошенными под углом $\beta = 5 \dots 7^\circ$ рабочими плоскостями.

К самоцентрирующим механизмам относятся также всевозможные конструкции патронов и оправок, в которых в качестве опорно-зажимных элементов используются кулачки, цанги, гладкие и гофрированные упругие оболочки, тарельчатые пружины и другие элементы.

Механизмы с цанговыми опорно-зажимными элементами (рис. 10.19, а, б) применяются для центрирования и закрепления заготовок, у которых отклонения размера (например, диаметра) от номинального не превышают 5 %. Размеры цанг в зависимости от габаритов сечения закрепляемых заготовок берутся по нормальям.

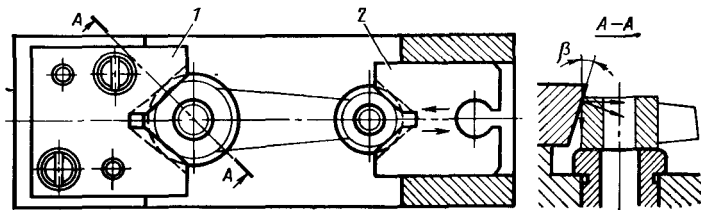


Рис. 10.18. Ориентирующий механизм с неподвижной 1 и подвижной 2 призмами

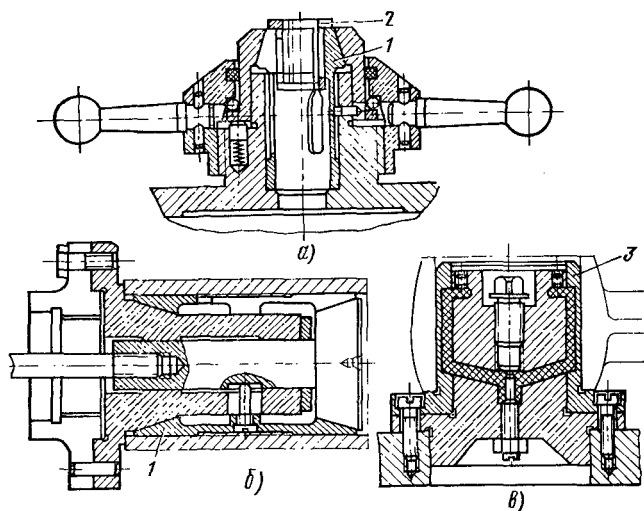


Рис. 10.19. Самоцентрирующие механизмы с цанговыми опорно-зажимными элементами для центрирования:

a — по наружной поверхности; *б* — по внутренней поверхности; *в* — гладкой упругой оболочкой; 1 — цанга; 2 — переходная втулка; 3 — тонкостенная втулка

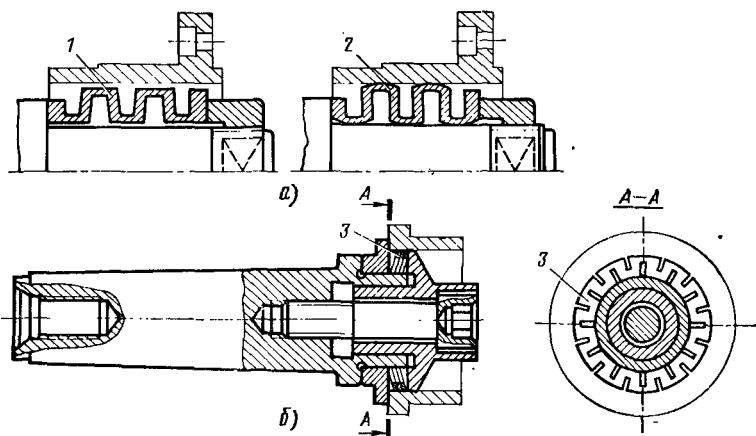


Рис. 10.20. Самоцентрирующие устройства с упругой гофрированной оболочкой (*a*) и тарельчатыми пружинами (*б*):

1, 2 — гофрированная втулка соответственно в свободном состоянии и после зажима; 3 — тарельчатая пружина

Самоцентрирующие механизмы с гладкой упругой оболочкой (рис. 10.19, в) используют лишь для закрепления заготовок, у которых наружные или внутренние поверхности обработаны по 6 ... 9-му квалитетам точности. Такое ограничение обусловлено тем, что деформация втулки с толщиной стенки до 2 мм будет в пределах упругости, если не превысит 0,002 ... 0,003 доли ее диаметра.

При помощи упругих гофрированных оболочек (рис. 10.20, а) можно центрировать и закреплять заготовки диаметром от 6 мм и более. Цилиндрическая поверхность закрепляемой заготовки должна быть обработана по 6-му квалитету точности при диаметре до 35 мм и не ниже чем по 9-му квалитету — свыше 35 мм. В этом случае выполняется условие $\Delta D \leq 0,0015D$, при котором приращение ΔD диаметра D гофрированной оболочки при ее сжатии в осевом направлении не будет выходить за пределы упругости.

Гофрированные оболочки изготавливают из легированных и высоколегированных сталей с термообработкой до HRC 46 ... 50.

Принцип работы самоцентрирующих устройств с тарельчатыми пружинами (рис. 10.20, б) состоит в том, что под действием осевой силы сжатия пружины выпрямляются, их наружный диаметр увеличивается, а внутренний уменьшается, в результате чего происходит центрирование и зажим обрабатываемой заготовки. Пружины могут контактировать непосредственно с поверхностью закрепляемой заготовки либо передавать на нее усилие зажима через промежуточную упругую (сплошную или разрезную) оболочку. Диаметры пружин при деформации изменяются (увеличиваются или уменьшаются) на 0,15 ... 0,4 мм в зависимости от их размера, что позволяет закреплять заготовки с цилиндрическими поверхностями, выполненными по 5 ... 11-му квалитетам точности. Нормализованный набор тарельчатых пружин для приспособлений обеспечивает возможность закрепления любых заготовок с наружным диаметром от 14 до 200 мм и внутренним от 4 до 165 мм.

§ 4. НОРМАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В крупносерийном и массовом производстве экономически оправдывается применение специальных (неразборных) приспособлений с встроенным или прикрепляемым силовым приводом. Помимо выполнения общих требований — точность, жесткость, безопасность и удобство эксплуатации — главная задача при конструировании сводится к максимальной механизации и автоматизации приспособлений с целью повышения производительности и облегчения труда рабочих.

В условиях большой номенклатуры и частой смены объектов производства решающее значение имеет сокращение сроков и стоимости подготовки производства, а также сокращение времени на переналадку оборудования, что очень важно при внедрении групповых технологических процессов. Поэтому применяемые в опытном и серийном производстве станочные приспособления должны, кроме общих требований, удовлетворять также требованиям быстрой переналадки в соответствии с изменением конструкции изделия и многократного использования составных элементов при изготовлении других приспособлений. В наибольшей степени указанным требованиям отвечают универсально-наладочные, групповые и сборно-разборные специализированные и специальные приспособ-

ления, в основу конструирования и изготовления которых положен принцип нормализации.

Нормализация приспособлений, а также их элементов и узлов является важнейшим средством сокращения сроков и стоимости конструирования и изготовления станочной оснастки.

Универсально-наладочные приспособления (УНП) состоят из универсальной и наладочной частей. Наладочные части имеют, с одной стороны, опорные элементы в соответствии с конструктивными особенностями каждой из закрепляемых при обработке заготовок и элементов для направления или координации инструмента, а с другой, — элементы или поверхности, позволяющие устанавливать в универсальной части приспособления различные наладочные элементы. Таким образом, сменная наладка является как бы технологическим придатком заготовки, унифицирует технологические базы и позволяет закреплять заготовку в высокопроизводительном приспособлении.

На рис. 10.21 показаны универсальные части УНП, широко используемые для закрепления заготовок при выполнении фрезерных (а) и сверлильных (б) работ.

Пальцы 5 универсального гидравлического стола, установленные на конпах штоков 4, соединяются с зажимными элементами сменных технологических наладок. Наладки устанавливаются в Т-образных пазах корпуса стола. Когда размеры обрабатываемых заготовок превышают длину гидравлического стола, приспособление составляют из нескольких таких столов.

При помощи комплекта сменных наладок устанавливают и закрепляют в универсальных частях различные по форме и размерам заготовки с минимальной затратой вспомогательного времени. Благодаря многократному использованию постоянной нормализованной части приспособления значительно сокращаются сроки и стоимости подготовки производства при переходе на выпуск новых изделий.

Специализированные или групповые приспособления, имеющие много общего с универсально-наладочными, предназначаются для установки и закрепления групп заготовок, сходных между собой по геометрическим параметрам, процессам формоизменения и способу фиксации при обработке. Они бывают как одноместные, так и многоместные.

Особенностью групповых приспособлений является возможность регулирования отдельных элементов с расчетом на установку в приспособлении однотипных заготовок, отличающихся друг от друга размерами в определенных пределах. Технико-экономические преимущества специализированных приспособлений особенно проявляются в условиях мелкосерийного производства, где широкое применение находит метод групповой обработки.

Как правило, универсально-наладочные и групповые приспособления по габаритным размерам несколько больше специальных и конструкция их основных постоянных узлов сложнее.

Специальные станочные приспособления при высоком уровне нормализации элементов и узлов почти полностью можно собирать из заранее изготовленных и многократно используемых нормалей, что имеет важное значение для серийного производства с частой

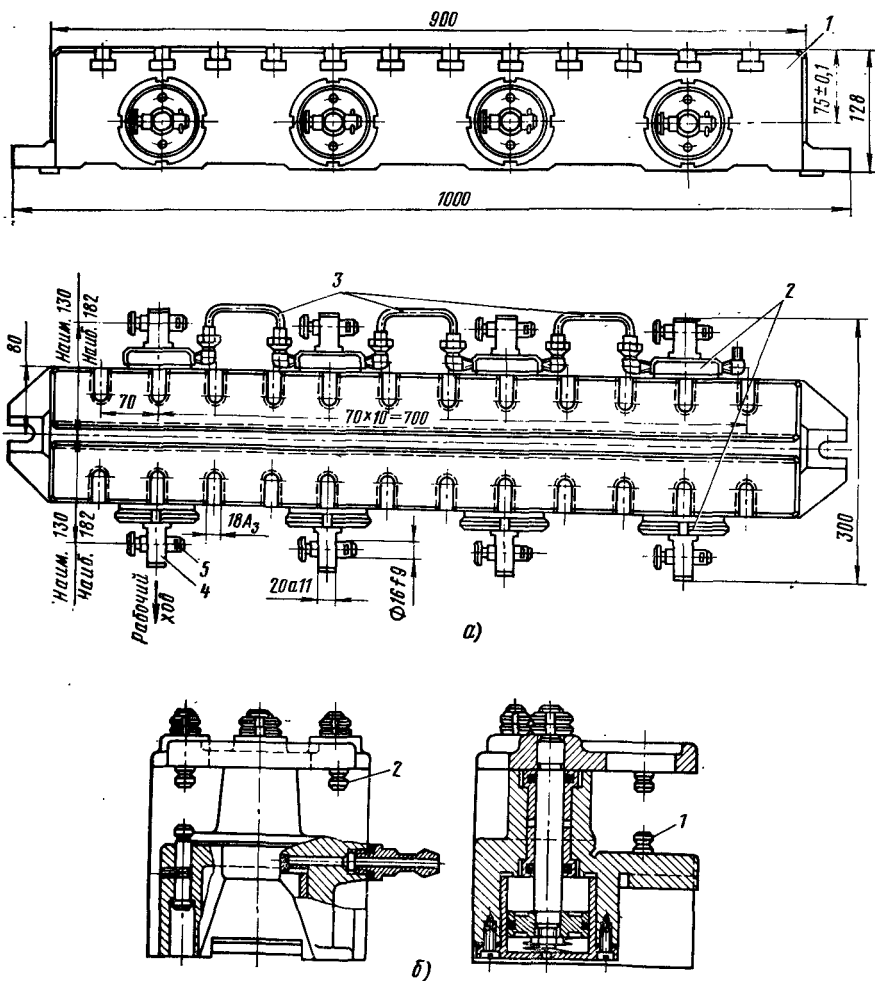


Рис. 10.21. Универсальные части универсально-наладочных приспособлений:
 а — гидравлический стол; (1 — корпус; 2 — гидропривод двухстороннего действия с расходящимися поршнями; 3 — трубопровод; 4 — шток гидропривода; 5 — палец;
 б — универсальная часть скальчатого кондуктора с пневматическим приводом; 1 и 2 — пальцы для установки соответственно сменных наладок с опорными элементами и сменными кондукторными плит с втулками и контактными деталями

сменной изготавливаемых изделий. На широком использовании принципа нормализации основано конструирование и изготовление сборно-разборных специализированных и специальных приспособлений, особенно фрезерных и сверлильных.

Сборно-разборные приспособления (СРП) различного назначения собирают из нормализованных взаимозаменяемых элементов и узлов. Специальные детали составляют в системе СРП до 20 %

общего количества. Их конструируют в соответствии с формой и размерами обрабатываемых заготовок. Система СРП является прогрессивной и экономически эффективной для серийного производства.

Специализированные сборно-разборные приспособления (ССРП) применяются в мелкосерийном и серийном производстве для изготовления однотипных деталей. Эти приспособления монтируют из нормализованных взаимозаменяемых элементов и узлов без доработки последних (в отличие от системы СРП). Опорные элементы специализированных приспособлений конструируют с учетом обрабатываемой заготовки и изготавливают как специальные.

Переналадка приспособлений при изготовлении группы однотипных деталей осуществляется регулировкой подвижных частей и сменой опорных элементов. Все приспособления системы ССРП оснащают быстродействующими зажимными устройствами, работающими от гидравлических приводов с давлением жидкости 7,85 ... 9,81 МПа (80 ... 100 кгс/см²).

Универсально-сборное приспособление (УСП) — сборно-разборное, состоящее на 100 % из универсальных геометрически простых базовых, корпусных, опорных, установочных, направляющих, зажимных, крепежных и других элементов, которые могут быть без какой-либо доработки, собраны в любых сочетаниях [40]. Комплект элементов УСП, срок службы которого 15 ... 25 лет, содержит 15 000 ... 25 000 деталей, позволяющих собрать одновременно 200 ... 250 различных приспособлений. В отличие от элементов систем СРП и ССРП, выполняемых из дешевых материалов с обычной степенью точности и шероховатости поверхностей, детали УСП изготавливают из легированных или высокоуглеродистых инструментальных сталей с высокой степенью точности и чистоты по сопрягаемым поверхностям.

Процесс создания приспособлений из элементов УСП складывается из разработки монтажной схемы приспособления в соответствии с требованиями технологического процесса и сборки приспособления из нормализованных элементов с последующей выверкой и наладкой. Время сборки приспособления в зависимости от его сложности составляет от 1 до 5 ч. После эксплуатации приспособление разбирают на элементы, которые раскладывают и хранят для использования в других приспособлениях.

К недостаткам системы УСП следует отнести пониженную жесткость из-за большого количества стыков, постепенную потерю точности по выполняемому на данной операции размеру и высокие требования к точности и чистоте сопрягаемых поверхностей элементов.

Применение системы УСП в опытном и мелкосерийном производстве, а также при освоении новых изделий позволяет значительно сократить сроки и стоимость изготовления станочных приспособлений и повысить оснащенность ими мелкосерийного производства до уровня серийного.

§ 5. ОСОБЕННОСТИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ К СТАНКАМ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

У станков с числовым программным управлением (ЧПУ) относительное перемещение заготовки и инструмента задается от начала отсчета координат («нулевой точки»). Поэтому приспособления должны обеспечивать ориентацию заготовки относительно нулевой точки (рис. 10.22) и сами полностью забазированы относительно начала координат отсчета системы программного управления. Следовательно, одной из основных особенностей приспособлений к станкам с ЧПУ является необходимость ориентации их не только в поперечном направлении относительно паза стола станка, но также и в продольном направлении [30].

При разработке расчетно-технологических карт положение исходной точки обработки выбирают исходя из наименьших холостых перемещений инструмента. Кроме того, положение инструмента в исходной точке должно обеспечивать удобство установки заготовки и съема детали, а также смены опорных и зажимных элементов при переналадке приспособлений. Столы большинства станков с ЧПУ имеют только продольные пазы. На таких станках приспособления ориентируют относительно начала отсчета координат по специальному отверстию в одном из элементов приспособления центроискателем с индикатором, устанавливаемым в шпинделе станка, либо по шпуну и установу, закрепленному на корпусе приспособления. Применение углового установка (рис. 10.23, а) исключает предварительную ориентацию приспособления относительно координат станка.

На столах станков, имеющих центральное отверстие или поперечный паз (рис. 10.23, б), в конструкции приспособлений предусматривают штырь и шпонку (штырь) при фиксации приспособления по отверстию и пазу либо три шпонки (штыря) при фиксации по продольному и поперечному пазам.

В качестве опорных элементов при базировании заготовок на столах станков с Т-образными пазами применяют различные подкладки, планки, упоры, домкраты, а при установке на столах станков с пазами и отверстиями — штыри гладкие или ступенчатые. Для сокращения номенклатуры подкладок и времени на подбор требуемой толщины целесообразно применять переналаживаемые регулируемые подкладки и подставки.

На станках с программным управлением применяют универ-

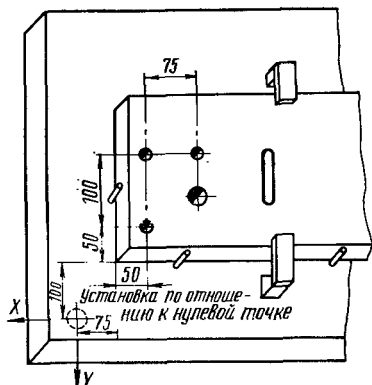


Рис. 10.22. Базирование заготовки относительно нулевой точки станка

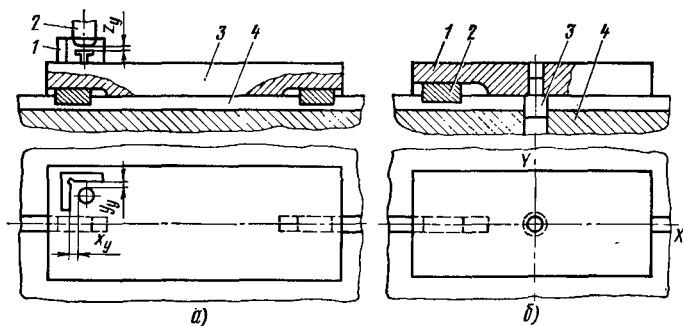


Рис. 10.23. Установка приспособления на столе станка:

а — по установке; 1 — установ; 2 — фреза; 3 — корпус приспособления; 4 — стол станка;
б — по отверстию и пазу; 1 — корпус приспособления; 2 — шпонка; 3 — штырь; 4 — стол станка

сальные переналаживаемые зажимные устройства, обеспечивающие возможность закрепления заготовок с большим диапазоном размеров как с ручным, так и с гидравлическим приводом.

Наиболее широкое применение на станках с ЧПУ получили универсально-сборные приспособления (УСП). Применение на станках с программным управлением систем переналаживаемых (обратимых) приспособлений, не требующих затрат времени и средств на их проектирование и изготовление, в условиях мелкосерийного производства является существенным фактором в снижении себестоимости и сокращении цикла подготовки производства.

§ 6. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОБЛЕНИЙ

Принципиальную схему конструкции станочного приспособления (схемы базирования и закрепления) намечает технолог, разрабатывающий процесс изготовления заданной детали. Он выполняет операционные эскизы с указанием технологической базы и мест зажима заготовки в приспособлениях, а также предельных значений зажимных усилий. Расположение заготовки на эскизе (в таком виде, какой она имеет после выполнения данной операции или позиции) должно соответствовать ее положению в станочном приспособлении и на станке при обработке.

В случае несовпадения конструкторской и технологической баз при установке заготовки в приспособлении технолог рассчитывает погрешности базирования и, если необходимо, производит перерасчет допусков на базисные размеры и на операционном эскизе указывает новые допуски. Если намечено проектировать сложное специальное (многопозиционное, автоматическое) или переналаживаемое приспособление, то технолог должен охарактере-

ризовать принцип действия приспособления и общие требования к нему.

Конструкцию приспособления на основании заказа технолога разрабатывает конструктор, изучив предварительно чертежи заготовки и готовой детали, технологический процесс и операционный эскиз для соответствующей операции. В процессе конструирования он использует нормали и стандарты на детали и узлы приспособлений и силовых приводов, а также альбомы и чертежи конструкций универсальных специализированных и специальных приспособлений, применяемых при изготовлении типовых деталей. Кроме того, конструктор должен располагать сведениями об имеющихся в инструментальных кладовых запасах заготовок стандартных корпусов, деталей, узлов и механизмов станочных приспособлений и их приводов, а также о форме и размерах посадочных мест станков, на которых устанавливаются и закрепляются приспособления.

Конструирование сводится к последовательному вычерчиванию элементов приспособления вокруг контура закрепляемой заготовки [8]. Контур заготовки в положении обработки на данной операции вычерчивают в необходимом количестве проекций штрихпунктирными линиями. Вокруг контура сначала вычерчивают направляющие элементы приспособления, основные и вспомогательные опоры, зажимные элементы и механизмы с учетом конструкции силового привода и другие детали и узлы приспособления. Затем определяют контуры корпуса приспособления. Попутно вычерчивают необходимые разрезы и сечения. Рекомендуется также тонкими линиями схематично изображать место на станке, где устанавливается и закрепляется приспособление.

Общий вид приспособления обычно выполняют в масштабе 1 : 1. На чертеже общего вида проставляют нумерацию всех деталей и дают их спецификацию с указанием материала, ГОСТов, нормалей. На чертеже должны быть проставлены габаритные размеры приспособления, координирующие и контрольные размеры, определяющие точность приспособления и являющиеся основными при его сборке, проверке и приемке, а также посадки на основные сопряжения деталей приспособления (см. рис. 10.1, а).

В приспособлениях с пневматическим или пневмогидравлическим приводом конструктор должен предусматривать устройства, исключающие возможность самопроизвольного открепления обрабатываемых заготовок в случае внезапного прекращения подачи воздуха или уменьшения его давления. В качестве таких устройств используют:

а) самотормозящиеся звенья, которые продолжают удерживать заготовку в зажатом состоянии даже в том случае, когда воздух выключен;

б) обратные клапаны, устанавливаемые перед распределительным краном, которые с момента полного отключения при-

способления от сети поддерживают почти неизменным усилие зажима в течение 5 ... 8 мин. Этого времени достаточно, чтобы закончить операцию средней продолжительности без опасности для рабочего;

в) пневмоконтакты или пневматические реле, включаемые в цепь магнитного пускателя, автоматически выключающие электродвигатель станка при падении давления воздуха в сети ниже допустимого.

§ 7. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНОЙ ОСНАСТКИ

На основе технологических процессов проектируются технологическая и контрольная оснастка: штампы, формблоки и др.

Следует учитывать, что в производстве летательных аппаратов на большинство деталей из листового материала отдельные чертежи не выполняются. При изготовлении в цехах технологической и контрольной оснастки пользуются шаблонами, снятыми с плазов.

Проектированием заготовительно-штамповочной оснастки занимаются специальные конструкторские группы, находящиеся в ведении главного технолога. Группы разрабатывают конструкцию штампов, оправок, формблоков, копиров, обтяжных пуансонов, контрольных приспособлений и другой оснастки по техническим заданиям технологических групп цехов основного производства, которыми оснастка уже определена и указана в разработанном технологическом процессе.

При многооперационной штамповке детали очень важно иметь надежную фиксацию заготовки на всех операциях. Если в конструкции детали не предусмотрены элементы фиксации, то необходимо применять какие-либо искусственные приемы. Наиболее просто эта задача решается введением технологических отверстий. Их целесообразно размещать в зоне припуска на обрезку, удаляемого после формообразования. При отсутствии припуска технологические отверстия размещают на поверхности детали; их координаты, форму и размеры задает конструктор изделия по согласованию с технологом.

Введение технологических отверстий, пазов или вырезов иногда вызывает излишний расход металла. Но это окупается тем, что ликвидируется брак вследствие надежной фиксации.

В процессе проектирования заготовительно-штамповочной оснастки пользуются ГОСТами, ведомственными нормами и руководящими техническими материалами, а также справочной и специальной литературой [34, 39, 42, 44 и др.].

Далее для примера перечислены основные этапы проектирования наиболее сложной оснастки — штампа:

а) расчет усилий прижима, съемника, выталкивателей и выбор приводов (пружинные, резиновые, полиуретановые буферы, пневматические устройства);

б) определение габаритных размеров матриц, пуансонов и выбор по ним нормализованного блока штампа (верхние и нижние плиты, соединенные направляющими колонками);

в) вычисление величины зазора между пуансоном и матрицей;

г) определение исполнительных размеров пуансона и матрицы, назначение допусков на размеры;

д) подбор из гостированных и нормализованных элементов деталей штампа;

е) проверка на прочность и жесткость основных рабочих элементов штампа;

ж) вычерчивание общего вида штампа в двух или трех проекциях, определение размеров закрытой и открытой высоты штампа и проверка по этим размерам правильности выбора прессы.

Глава 11

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ САМОЛЕТА

§ 1. ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Проектирование технологических процессов — творческая деятельность человека — базируется на использовании опыта и новейших достижений науки и техники.

Степень совершенства конкретного технологического процесса может быть оценена совокупностью следующих технико-экономических показателей:

качеством продукции, обеспечиваемым данным технологическим процессом;

уровнем производительности труда, его механизацией и автоматизацией;

себестоимостью продукции;

условиями труда при выполнении данного процесса;

степенью соответствия технологического процесса передовым формам организации производства;

трудоемкостью и циклом подготовки производства, связанными с освоением данного технологического процесса;

мобильностью (специфическим показателем) — свойством технологического процесса сохранять высокие технико-экономические показатели в условиях резкого изменения программы выпуска продукции.

При проектировании технологических процессов эти показатели приобретают значение требований, которыми и должен руководствоваться технолог,

Традиционные методы проектирования процессов изготовления деталей можно подразделить на проектирование единичных и типовых технологических процессов.

Единичный технологический процесс — технологический процесс, относящийся к изделиям одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс — технологический процесс, характеризуемый единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

Проектирование единичных технологических процессов изготовления деталей включает несколько этапов, выполняемых в следующей последовательности:

изучение данных чертежа детали и технических условий на ее поставку;

выбор (или анализ заданных чертежом) типа и формы заготовки, необходимой для изготовления детали;

выбор способов и последовательности обработки и составление схемы процесса изготовления детали;

разработка вариантов процесса и выбор из них наиболее экономичного;

оформление технологической документации на принятый к исполнению вариант процесса;

разработка технических заданий на проектирование новых видов оборудования, технологической оснастки, контрольно-измерительного инструмента, предусмотренных процессом изготовления детали.

Приведем краткую характеристику содержания каждого из этапов проектирования единичного процесса изготовления детали.

Изучение данных чертежа детали и технических условий на ее поставку, включая анализ сборочного чертежа узла или агрегата, в которые входит данная деталь, позволяет установить назначение детали, требования к точности, шероховатости поверхностей обработки, к прочности и покрытиям, выявить количество деталей, идущих на изделие.

Такое изучение чертежа детали нередко позволяет внести уточнение в требования к обработке и в конструктивное оформление детали с целью использования более производительных способов обработки, применения более точных заготовок или универсального инструмента взамен специального, что может повысить эффективность производства. При этом нужно иметь в виду, что любые изменения чертежа детали могут быть сделаны только по согласованию с конструктором.

Формы и размеры заготовки, необходимой для изготовления детали путем удаления припуска, должны максимально приближаться к форме и размерам детали и содержать наименьшее количество обрабатываемых поверхностей. Например, применение штампованных заготовок повышает коэффициент использования

материала и снижает трудоемкость обработки, так как уменьшается объем снимаемого металла, а некоторые поверхности не обрабатываются. Однако в ряде случаев применение прутков в качестве заготовок позволяет использовать для обработки высокопроизводительное оборудование, например, станки-автоматы, а применение штампованных заготовок требует дополнительных трудовых затрат на оснастку и изготовление заготовок. Поэтому окончательное решение о рациональном виде заготовки может быть принято только с учетом программы выпуска изделий и расходов, связанных с получением того или иного вида заготовки.

Форма и размеры заготовок для деталей, изготавливаемых из листа, профилей и труб, определяются по соответствующим шаблонам или по формулам.

Способы обработки определяются формой поверхностей детали и требованиями к их точности и шероховатости, а *последовательность изготовления* — взаимной связью поверхностей между собой и выбором установочных баз при закреплении заготовки на станке или в приспособлении. Выбор способов обработки для каждой поверхности детали начинается с завершающего перехода, на котором должны быть обеспечены заданные точность и шероховатость поверхностей, а затем определяются виды предварительной обработки.

Выбор способа обработки и базирования зависит от указанных требований. То же самое относится и к подбору оборудования. Однородные по характеру воздействия на предмет обработки станки могут иметь разную производительность. Окончательное решение о выборе того или иного станка может быть получено лишь на основании экономических расчетов в зависимости от количества изготавливаемых деталей. Варьировать можно применяемым инструментом и приспособлениями, что также связано с производительностью.

Таким образом, при определении последовательности изготовления детали в ряде случаев можно наметить несколько вариантов, удовлетворяющих требованию качества детали.

Выбор наиболее экономичного варианта процесса изготовления детали осуществляется на основании сравнения технико-экономических показателей по методике, изложенной в гл. 3.

Технологической документацией на принятый к исполнению вариант процесса в мелкосерийном производстве служат технологические карты, разрабатываемые на весь процесс изготовления детали по операциям для планирования загрузки рабочих и оборудования. В крупносерийном и массовом производстве, а также на сложные операции новых технологических процессов в мелкосерийном производстве процесс изготовления детали оформляется на операционных картах. Комплект операционных карт сводится в альбом, который снабжается сводной картой на весь процесс.

Иногда при использовании сложного вида оборудования, например, агрегатных станков, станков-автоматов и полуавтоматов,

станков с программным управлением разрабатываются карты наладки, а для проверки сложных деталей как на отдельных переходах их изготовления, так и после окончательной обработки — карты контроля.

Разработка технологических заданий на проектирование нового специального оборудования, специальной оснастки и инструмента является заключительным этапом проектирования технологического процесса.

Точное выполнение разработанного технологического процесса обеспечивает требуемое качество изделия и является законом производства. Изменения технологического процесса вносятся в установленном порядке только после тщательной их проверки и при условии, что качество изделия при этом не снижается.

Проектирование типовых технологических процессов. Типизация технологических процессов, одним из основоположников которой является профессор А. П. Соколовский, имеет следующие возможные направления разработки.

1. Классификация деталей с выявлением определенного числа типов деталей. При этом детали, относимые к одному типу, должны иметь принципиально общий технологический процесс.

2. Формулировка технологических задач, относящихся к изготовлению деталей в целом или к обработке отдельных поверхностей либо к сочетанию этих поверхностей.

Первое направление встречает большие трудности, связанные с классификацией разнообразных деталей изделия и с большим числом типов деталей, которые приходится рассматривать.

Второе направление требует более углубленного изучения предмета обработки, так как для того, чтобы свести все необходимые сведения к совокупности четко сформулированных технологических задач, необходимо предварительное выполнение большой исследовательской работы.

Любой технологический процесс определяется совокупностью составляющих его элементов. Например, к числу основных элементов, составляющих процесс изготовления деталей, относятся следующие: виды частных процессов и последовательность их выполнения; оборудование, применяемое для осуществления частных процессов и его настройка; технологическая оснастка (приспособления, обрабатывающий и измерительный инструмент) и ее настройка; точность выполнения каждого частного процесса.

К одному типовому процессу, очевидно, могут быть отнесены процессы изготовления различных деталей, если последние имеют в своем составе некоторое количество одинаковых с типовым процессом элементов. Такое группирование технологических процессов сокращает время на их проектирование, так как общие для всех процессов элементы разрабатываются один раз. Одновременно сокращаются затраты и на осуществление технологических процессов. Оборудование и оснастка используются для изготовления деталей различной конструкции и оказываются полностью

загруженными. Обобщение элементов «настройка оборудования» и «настройка оснастки» сокращает количество переналадок и затрат труда на их выполнение.

Основной принцип типизации технологических процессов заключается в группировании технологических процессов с целью унификации их отдельных элементов, с последующим совместным проектированием и осуществлением унифицированных элементов всех процессов, входящих в данный типовой процесс.

Поэтому одним из наиболее важных вопросов типизации технологических процессов является выбор их элементов, подлежащих унификации. Номенклатура унифицируемых элементов, очевидно, служит тем признаком, по которому классифицируют и группируют технологические процессы. Отношение числа унифицированных элементов технологического процесса к общему числу составляющих его элементов можно рассматривать как характеристику степени типизации S_T .

Повышение степени типизации технологических процессов, с одной стороны, сопровождается сокращением непосредственных затрат на осуществление каждого из процессов, с другой стороны, — уменьшением количества наименований деталей, объединяемых в одну группу. Например, при $S_T = 1$ в каждую группу удастся включить процессы изготовления деталей не более двух наименований. Даже незначительные различия в конструкции деталей неизбежно приводят к несовпадению нескольких элементов технологического процесса. Сокращение номенклатуры деталей, входящих в одну группу, в конкретных производственных условиях приводит к снижению серийности производства и связанному с этим повышению непроизводительных затрат.

Очевидно, для каждого конкретного случая существует некоторая *оптимальная степень типизации*, которой соответствует наибольший экономический эффект. Например, практический опыт и расчеты показывают, что в мелкосерийном производстве для цехов механической обработки при изготовлении небольших по размерам деталей оптимальная степень типизации близка к принятой в методе групповой обработки [2].

Типовой технологический процесс для большинства деталей, охватываемых данным типом, представляет собой отступление от наилучшего варианта, что влечет за собой снижение технико-экономических показателей каждого из процессов.

В мелкосерийном производстве такое снижение технико-экономических показателей перекрывается экономией от сокращения работ по проектированию процессов, от лучшей загрузки оборудования и оснастки, от уменьшения количества переналадок оборудования. В крупносерийном и массовом производстве снижение технико-экономических показателей, связанных с отступлением от наилучшего варианта процесса изготовления детали, не компенсируется сокращением объема работ по проектированию технологических процессов. Оборудование и оснастка в этом случае пол-

ностью загружаются и при единичном технологическом процессе.

Следовательно, эффективность типизации технологических процессов уменьшается с увеличением объема производства и не оправдывает себя в крупносерийном и массовом производстве.

§ 2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Эскизное и техническое проектирование самолета и проектирование процессов его изготовления составляют наибольшую трудоемкость в подготовке производства, что вызывает необходимость в повышении производительности труда проектировщиков.

Повышение производительности умственного, творческого труда, каким является труд проектировщиков, возможно, если выделить такие его элементы, которые имеют достаточное содержательное описание и поддаются формализации. При этом орудиями труда проектировщика будут служить электронно-вычислительные машины (ЭВМ).

Составной частью технического проектирования является проектирование процессов изготовления изделий по ранее разработанному проекту (чертежу), которое и рассматривается далее с точки зрения возможностей использования ЭВМ.

Разработка АСПТП — автоматизированных систем проектирования технологических процессов связана с предварительным выяснением первичной информации — содержательного знания о том, что необходимо и возможно проектировать с использованием ЭВМ. Неоценимую роль в этом отношении играет накопленный человечеством опыт в виде описаний и обобщений, например, типизация технологических процессов.

Многие разработчики АСПТП обращаются именно к типизации технологических процессов как в первичной содержательной информации, что требует краткого анализа.

Типизация предполагает классификацию и разработку технологических процессов по двум направлениям. Первое направление, которое можно назвать *дедуктивной типизацией*, связано с классификацией разнообразных деталей и с большим числом типов деталей. Второе направление, которое назовем *индуктивной типизацией*, предполагает углубленное изучение предмета обработки.

К настоящему времени наиболее разработана дедуктивная типизация, получившая значительное распространение в мелкосерийном производстве. Индуктивная типизация разработана незначительно, на уровне некоторых технологических операций и переходов в границах дедуктивной типизации.

Дедуктивная типизация, в результате которой четко определяется схема технологического процесса и выясняются типовые технологические операции, привлекает наибольшее внимание

разработчиков АСПТП. Но при этом не остаются незамеченными и недостатки дедуктивной типизации: громоздкость классификации деталей, определяемая оптимальной степенью типизации; пригодность для конкретных предприятий, связанная с учетом конкретных производственных условий; оптимальность типового технологического процесса, требующая периодической его переработки в связи с техническим прогрессом — появлением новых частных процессов.

Методы типизации, технологические правила, традиции и характер работы технологов на различных предприятиях разные. Поэтому алгоритмы и программы, построенные на базе этих методов, носят частный характер. Они пригодны лишь для одного предприятия и не могут без значительной переделки применяться на других заводах с другим составом оборудования и оснастки. Эти недостатки сдерживают до некоторой степени широкое внедрение в промышленность машинных методов проектирования [3].

Таким образом, типизация технологических процессов с точки зрения ее использования при разработке АСПТП выявляет существенное противоречие между дедуктивной и индуктивной типизацией. Дедуктивная типизация дает схему технологического процесса для конкретных производственных условий, которую, строго говоря, нельзя положить в основу индуктивной типизации. Индуктивная типизация требует принципов классификации и унификации элементов технологического процесса, которые связаны со схемой технологического процесса, определяющей не только физическую сущность и количество унифицированных элементов, но и селективное их использование. Такой объективной схемы технологического процесса дедуктивная типизация не даст.

Для разрешения этого противоречия, очевидно, необходим такой методологический подход, такая классификация элементов изделия, полуфабрикатов, заготовок и технологических процессов, при которых комбинации этих элементов, взятые в комплексе, позволяли бы с наибольшим эффектом достигать цели при любом масштабе производства [4].

В первую очередь, оказалось необходимым определить принципы классификации технологических процессов и на основе этих принципов произвести их классификацию.

Структурный анализ и синтез предметов и процессов производства позволил выделить три объективно существующих класса процессов, свойственных любому машиностроительному предприятию: заготовительно-обработочные; монтажно-сборочные и регулировочно-испытательные. Для подробной классификации выделим первый класс — заготовительно-обработочные процессы, т. е. процессы изготовления деталей [5].

В основу классификации процессов первого класса положен энергетический признак, т. е. энергия, подводимая в зону обработки (механическая, электрическая, химическая, тепловая и т. д.), или особые свойства формообразования деталей, а также

новое понятие о частном процессе, сущность которого определяется данной физической теорией.

Такая *аналитическая классификация* необходима для выявления и познания массива существующих многочисленных процессов изготовления деталей (см. гл. 5, 6, 7).

Для селективного использования — выбора из массива технологических процессов таких процессов, которые необходимы в конкретном случае, — потребовалась другая, *синтетическая или комплексная классификация*.

Результатом комплексной классификации явились принципиальные структурные схемы технологических процессов для каждого комплексного класса и его подклассов, инвариантные конкретным производственным условиям. Это свойство принципиальных структурных схем позволяет положить их в качестве исходной информации в основу разработки АСИПТ изготовления деталей самолета.

§ 3. КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Сущность комплексного метода проектирования технологических процессов состоит в том, что состояние предмета обработки — физического тела — до и после его заданного изменения рассматривается как импликация — отношение между посылкой и выводом по формуле — «Если ... то», или иначе — как отношение между однородными понятиями меньшего и большего объема.

Например, заготовку можно представить как множество поверхностей F_a , ограничивающих ее внешние и внутренние контуры. Деталь также представляет собой множество поверхностей F_d , ограничивающих ее внешние и внутренние контуры. Очевидно, существует некоторое универсальное множество поверхностей F , подмножествами которого являются F_a и F_d . Следовательно, понятия о заготовке и детали с точки зрения их геометрических параметров однородны.

Однако количество поверхностей конкретной заготовки F_a всегда меньше количества поверхностей детали F_d , изготавливаемой из данной заготовки. Из этого следует, что однородные понятия имеют меньший и больший объем, а это и определяет необходимый поэтапный процесс превращения заготовки в деталь.

Такой подход распространяется не только на геометрические, но и на другие физико-механические параметры объектов — «заготовка → деталь» (упрочнение, образование покрытий и т. д.).

На рис. 11.1 представлена схема разработки комплексного метода проектирования процессов изготовления деталей. Как видно из этой схемы, исходными данными для разработки комплексного метода являются принципиальные положения и понятия, а также аналитическая классификация деталей (проектов), применяемых для их изготовления исходных материалов и процессов.



Рис. 11.1. Схема разработки комплексного метода проектирования процессов изготовления детали

Если физико-механические свойства полуфабриката или специальной заготовки заранее определяются проектом и обеспечение этих свойств детали практически не связано с изменением ее формы и размеров, то остаются лишь геометрические различия между проектом детали и выбранными для ее изготовления полуфабрикатом или специальной заготовкой. Эти различия устраняются с помощью вполне определенного процесса формообразования. В отдельных случаях, когда для изготовления деталей используют точные специальные заготовки, основной процесс формообразования исключается, так как геометрические различия между такой заготовкой и проектом (чертежом) детали будут незначительными или их не будет вовсе.

Синтетическая классификация рассматривает исходные материалы, деталь (в проекте) и процесс превращения исходных материалов в деталь в комплексе с целью определения комплексных классов и подклассов.

Определение комплексных классов. Технологический процесс изготовления детали зависит не только от ее конструктивного оформления и заданных физико-механических свойств, но и (в основном) от внешней характеристики, т. е. от формы, размеров, точности, шероховатости поверхности полуфабриката или заготовки.

Очевидно, в основе любого технологического процесса изготовления детали лежит вполне определенный процесс формообразования, который является следствием необходимого и целесообразного устранения различий между геометрическими параметрами детали и полуфабриката или специальной заготовки для нее.

Следовательно, многочисленные и разнообразные по свойствам детали самолета (в проекте), так же как и полуфабрикаты и специальные заготовки имеют взаимные связи — общие признаки, которые в основном и определяют технологический процесс — его принципиальное содержание.

Таковыми общими наиболее существенными признаками, связывающими полуфабрикат или заготовку с деталью и определяющими наиболее важный элемент технологического процесса изготовления детали — процесс формообразования, являются:

соответствие формы полуфабриката или заготовки (по контуру и сечениям) форме детали;

соответствие размеров и точности полуфабриката или заготовки по контуру и сечениям размерам и точности детали;

соответствие класса шероховатости основных необрабатываемых поверхностей полуфабриката или заготовки классу шероховатости основных поверхностей детали.

Используя перечисленные геометрические признаки, все детали планера самолета и относящиеся к ним полуфабрикаты и заготовки можно разделить на пять комплексных классов (табл. 11.1).

К первому классу относятся детали, изготавливаемые из стандартного сортамента полуфабриката, класс шероховатости основных (необрабатываемых) поверхностей которого соответствует классу шероховатости основных поверхностей детали.

Геометрические параметры полуфабриката в данном случае по форме и размерам не соответствуют заданным контурам детали и не полностью соответствуют заданным ее сечениям. Процессы изготовления деталей этого класса обычно включают процессы раскроя полуфабриката на заготовки.

В силу того, что детали первого класса по форме не вписываются в заготовки, основным процессом их формообразования является деформирование (гибка, вытяжка, обтяжка и т. п.).

Ко второму классу относятся детали, изготавливаемые как из стандартного сортамента полуфабриката, так и из неточных заготовок — поковок. Полуфабрикаты и заготовки для деталей этого класса не полностью соответствуют по форме и размерам контуру, указанному в чертеже на деталь, и не соответствуют по остальным геометрическим параметрам. При изготовлении деталей из стандартного полуфабриката в технологический процесс часто входит и процесс изготовления заготовки.

Детали второго класса полностью вписываются в заготовки, поэтому основным процессом их формообразования является удаление излишнего материала со всех поверхностей заготовки.

К третьему классу относятся детали, изготавливаемые из стандартного полуфабриката. Полуфабрикаты или заготовки соответствуют лишь по классу чистоты основных поверхностей и не соответствуют по всем остальным геометрическим параметрам. В технологический процесс изготовления таких деталей, как правило, входят процессы раскроя полуфабриката на заготовки.

Комплексная технологическая классификация деталей

Комплексный класс	Детали самолета	Соответствие геометрических параметров деталей и полуфабрикатов (заготовок)					Полуфабрикат или специальная заготовка
		по форме		по размерам		по чистоте ос- новных поверх- ностей	
		контура	сечений	контура	сечений		
1	Обшивки, нервюры, шпангоуты, стрингеры, тяги, фермы и т. д.	≠	≈	≠	≈	=	Листы, профили, профилированные плиты, трубы тонкостенные
2	Штоки, валики, цилиндры, вилки, уши, рамы, шпангоуты и т. д.	≈	≠	≈	≠	≠	Прутки, трубы толстостенные, поковки и неточные штамповки и отливки
3	Монолитные панели, обшивки, полки и стенки фасонные и переменного сечения и т. д.	≠	≠	≠	≠	≈	Плиты и полосы плоские, катаные и прессованные
4	Силовые узлы, шпангоуты, монолитные отсеки, полки лонжеронов, панели и т. д.	=	=	≈	≈	=	Точные штамповки, отливки и прессованные заготовки
5	Диффузоры, конусы, носки, законечники, законцовки крыльев и т. д.	=	=	=	=	=	Заготовки из композиционных материалов — пластмасс, керамики и т. п.

Условные обозначения: = полное соответствие; ≈ неполное соответствие; ≠ несоответствие.

Детали третьего класса не вписываются в заготовки по форме и размерам контура, но вписываются по форме и размерам сечений. Поэтому для их формообразования применяются и процессы удаления излишнего материала, и процессы деформирования, которые могут меняться местами. Если, например, излишний материал удаляется механическим фрезерованием, то процесс деформирования, как правило, следует за ним. Если же удаление излишнего материала производится размерным травлением, то процесс деформирования обычно предшествует ему.

К четвертому классу относятся детали, изготавливаемые из специальных точных заготовок, выполненных штамповкой совместно с калибровкой, штамповкой с чеканкой, штамповкой из

жидкого металла, точным литьем, горячим или холодным прессованием.

Геометрические параметры таких заготовок не полностью соответствуют геометрическим параметрам деталей только по размерам контура и сечений. Все остальные геометрические параметры заготовки соответствуют заданным параметрам детали.

Поэтому в технологическом процессе изготовления деталей из таких заготовок процесс формообразования отсутствует, так как он входит в процесс изготовления заготовок. Основные поверхности заготовок обработке не подвергаются. Остаются лишь процессы доводки — доработки по размерам контура и некоторых сечений.

К пятому классу относятся монолитные детали, изготавливаемые непосредственно из пластмасс (синтетических высокомолекулярных веществ) или их композиций с различными наполнителями (порошкообразными, волокнистыми и др.), а также из керамики и металлокерамики. Для изготовления этих деталей применяют такие процессы формообразования, которые в большинстве случаев устраняют последующую обработку (см. гл. 8).

В предположении, что и для этого класса деталей вначале изготавливаются заготовки (см. табл. 11.1), можно утверждать, что геометрические параметры этих заготовок полностью соответствуют геометрическим параметрам деталей, а процесс изготовления заготовки по существу будет представлять процесс изготовления детали.

Таким образом, являясь наиболее существенным элементом процесса изготовления детали, процесс формообразования диктует характер подготовительных и завершающих процессов.

В дальнейшем комплексный метод проектирования рассматривается применительно к изготовлению деталей из металлов и их сплавов, т. е. касается только первых четырех комплексных классов.

Определение комплексных подклассов. На втором этапе комплексной классификации комплексные классы делятся на подклассы. Импликацией «заготовка → деталь» служат физико-механические параметры материалов с их признаками, существенно влияющими на формирование структуры технологического процесса (табл. 11.2).

Как видно из табл. 11.2, каждый комплексный класс, за исключением пятого, который рассматривается в гл. 8, оказалось возможным разделить на три подкласса.

Признаки деления первого и третьего комплексных классов на подклассы аналогичны. Различие состоит лишь в том, что для подклассов первого комплексного класса основным процессом формообразования служит деформирование, а для подклассов третьего комплексного класса основной процесс формообразования составляет из процессов деформирования и удаления излишнего материала.

Определение комплексных подклассов

Классы	Подклассы	Признаки физико-механических свойств предмета обработки «заготовка → деталь»
1,3	11,31	Упрочняемые термообработкой сплавы с длительным сроком старения
	12,32	Упрочняемые термообработкой сплавы, не обладающие длительным сроком старения
2,4	13,33	Неупрочняемые термообработкой сплавы
	21,41	Упрочняемые термообработкой сплавы с $\sigma_B > 1200$ МПа (120 кгс/мм ²)
	22,42	Упрочняемые термообработкой сплавы с $\sigma_B \leq 1200$ МПа (120 кгс/мм ²)
	23,43	Неупрочняемые термообработкой сплавы

Признаки деления второго и четвертого комплексных классов на их подклассы также аналогичны. Различие заключается лишь в том, что для подклассов второго комплексного класса основным процессом формообразования является процесс удаления лишнего материала, а для подклассов четвертого комплексного класса характерно отсутствие основного процесса формообразования.

Следует заметить, что признаки деления второго и четвертого комплексных классов на первые два подкласса приняты исходя из практики проектирования наиболее рациональных технологических процессов. Как показала практика, современный режущий инструмент позволяет обрабатывать материалы с $\sigma_B \geq 1200$ МПа (120 кгс/мм²) почти без снижения его стойкости, что дает значительный эффект в результате сокращения цикла обработки. Конечно, этот вопрос подлежит более глубокому изучению.

Приведенное деление комплексных классов на их подклассы конкретизирует подход к построению принципиальных структурных схем процессов изготовления деталей. Однако для построения таких схем необходимо предварительно определить группы частных процессов и условия построения структурных схем. Определение групп частных процессов вызывается тем, что разработка структурных схем непосредственно по множеству частных процессов в силу количественной неопределенности этого множества оказывается весьма затруднительной. Кроме этого вновь появляющиеся частные процессы неизбежно повлекут за собой изменение разработанных в этих условиях структурных схем технологических процессов. Поэтому в основу определения групп частных процессов положен признак *аналогии технологических функций*, т. е. наиболее существенная особенность частных процессов, которая объединяет их в группы. При этом частные процессы, объединяемые в одну группу, могут быть различными по физической сущности и количество их в данной группе может изменяться с развитием техники и технологии или в соответствии с конкретными производственными условиями.

Определение групп частных процессов

Условное обозначение группы	Краткое содержание признака «Аналогия технологических функций»
Процессы формообразования	
Уд 1	а) <i>удалением излишнего материала:</i> изменяющие форму, размеры и шероховатость и определяющие положение образуемых поверхностей относительно конструктивной базы
Уд 2	изменяющие форму, размеры и шероховатость, но не определяющие положение образуемых поверхностей относительно конструктивной базы
Уд 3	изменяющие только шероховатость поверхностей, полученных предыдущей обработкой
б) <i>холодным деформированием:</i>	
Деф 1	жесткосхемные, изменяющие форму поверхностей заготовки без существенного перераспределения и перемещения объема материала
Деф 2	мягкосхемные, изменяющие форму полуфабриката перераспределением и заданным перемещением объема материала при значительных удельных давлениях
Деф 3	отделочные, изменяющие шероховатость или прочность поверхностей без существенного изменения формы и размеров заготовки, полученной предыдущей обработкой
Процессы, изменяющие физико-механические свойства	
а) <i>термической обработкой:</i>	
То 1	смягчающие (отжиг, отпуск)
То 2	упрочняющие (закалка с отпуском, закалка со старением)
То 3	упрочняющие с диффузионным насыщением или пластическим деформированием
б) <i>образованием покрытий:</i>	
Оп 1	подслойные покрытия
Оп 2	декоративные и защитные покрытия
Оп 3	упрочняющие покрытия

Каждая группа частных процессов предполагает также соответствующее оснащение, обеспечивающее выполнение функций каждого частного процесса данной группы.

Такой подход позволил все множество существующих и вновь появляющихся частных процессов формообразования объектов обработки и придания им соответствующих физико-механических свойств объединить в ограниченное число их групп (табл. 11.3).

Условия построения структурных схем технологических процессов изготовления деталей свелись к выбору таких групп частных процессов, которые были бы необходимы и достаточны для превращения полуфабриката или заготовок в детали в пределах данного комплексного класса, а также к определению такого последовательного расположения групп частных процессов, которое

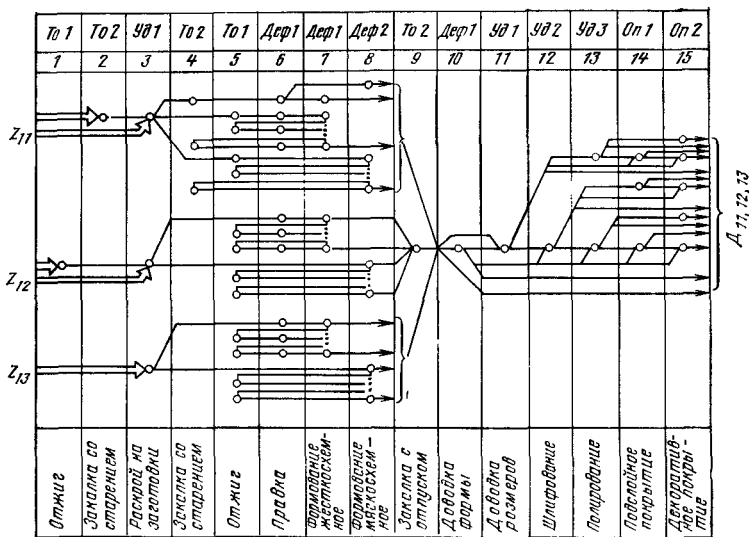


Рис. 11.2. Принципиальные структурные схемы процессов изготовления деталей первого комплексного класса

было бы характерно для всего множества полуфабрикатов, заготовок и деталей данного комплексного класса и исключало бы необоснованное образование петель.

На рис. 11.2 представлены принципиальные структурные схемы процессов изготовления деталей первого комплексного класса. В первой строке схемы указаны группы частных процессов в условных обозначениях (см. табл. 11.3). Последовательность групп частных процессов обозначена порядковыми номерами во второй строке. Последняя цифра соответствует общему количеству используемых в данном комплексном классе групп частных процессов с учетом их повторяемости.

Группы частных процессов, включаемые в различные схемы процессов изготовления деталей, обозначены кружками в соответствующих вертикальных колонках, а их функциональные связи показаны горизонтальными линиями. Вход обозначен стрелками «слева — направо» от *Z* (заготовка), а выход — стрелками к *D* (деталь). Двухзначные цифры, приданные *Z* и *D*, указывают: первая — на принадлежность *Z* и *D* к определенному комплексному классу, а вторая — к его подклассу.

Аналогично разработанные структурные схемы для всех четырех классов охватывают почти все существующие процессы изготовления деталей планера самолета из металлов и их сплавов и представляют собой необходимую основу при проектировании конкретных технологических процессов.

Алгоритм выбора структурных схем процессов изготовления деталей в содержательном описании сводится к следующему:

на основе первичной информации (чертеж, технические условия), используя признаки соответствия геометрических параметров заготовки и детали, отнести проект детали к комплексному классу;

используя признаки о свойствах материала (предел прочности, длительное старение, упрочняемость термической обработкой, состояние поставки), отнести проект детали к одному из подклассов определенного ранее комплексного класса;

используя информацию о точности, шероховатости, упрочнении отдельных поверхностей детали, выбрать схему процесса изготовления детали для определенного ранее комплексного подкласса.

На уровне выбора структурных схем процессов изготовления деталей комплексный метод является универсальным, т. е. пригодным для традиционного и автоматизированного проектирования технологических процессов. При обычном проектировании алгоритм выбора структурных схем может быть использован в его содержательном описании. При автоматизированном проектировании этот алгоритм формализуется для программирования.

Комплексный метод по сравнению с дедуктивной типизацией технологических процессов имеет следующие значительные преимущества:

инвариантность структурных схем технологических процессов конкретным производственным условиям исключает переработку АСПТП на высших уровнях при их использовании на разных предприятиях;

громоздкая и трудоемкая дедуктивная типизация технологических процессов заменяется разбиением множества чертежей деталей на группы по установленным для каждого комплексного класса и подкласса признакам;

инвариантность структурных схем процессов изготовления деталей конкретным производственным условиям служит основанием для определения объективных принципов индуктивной типизации — унификации элементов технологических процессов, а также для селективного использования унифицированных элементов технологических процессов в каждом конкретном случае.

§ 4. ПРИМЕРЫ ВЫБОРА СТРУКТУРНЫХ СХЕМ И ДЕТАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

В качестве примера рассмотрим выбор структурных схем процессов изготовления деталей первого комплексного класса жесткосхемным деформированием.

В зависимости от физико-механических свойств исходного материала технологические процессы изготовления деталей первого класса делятся на три подкласса (см. рис. 11.2):

для $Z_{11} \rightarrow D_{11}$ из упрочняемых термической обработкой материалов с длительным сроком старения;

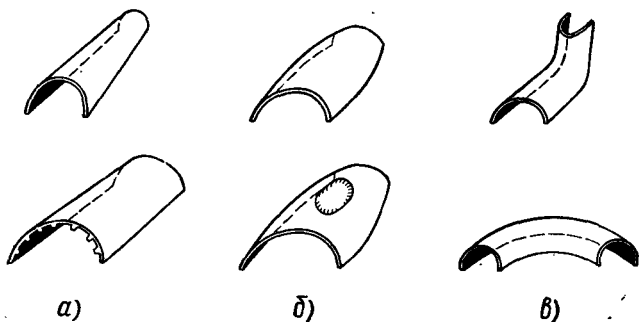


Рис. 11.3. Характерные детали оболочки самолета:

а — одинарной кривизны; б — двойной кривизны и знакопеременной кривизны; в — сложной формы

для $Z_{12} \rightarrow D_{12}$ из упрочняемых термической обработкой материалов, не обладающих сроком старения;

для $Z_{13} \rightarrow D_{13}$ из не упрочняемых термической обработкой материалов.

На рис. 11.2 стрелками показана характерная последовательность сочетания групп частных процессов в технологических процессах каждого из трех подклассов. При этом некоторые из групп частных процессов в конкретных случаях могут повторяться. Например, при многоразовой вытяжке или обтяжке возникает необходимость в промежуточной термической обработке — отжиге. В этом случае отжиг и доработка — правка — будут кратны процессам формования. Лишь для деталей из легких упрочняемых термической обработкой сплавов перед калибровкой отжиг заменяется закалкой. При однооперационном формовании в технологическом процессе первого и третьего подклассов отжиг, как правило, отсутствует.

При изготовлении деталей второго подкласса из сталей, упрочняемых термической обработкой, отжиг часто применяют для выравнивания структуры, снятия внутренних напряжений или для разупрочнения полуфабриката, поступающего в обработку в нормализованном или закаленном состоянии. Закалка, как правило, следует после процессов деформирования.

На рис. 11.3 показаны характерные детали оболочки самолета, которые изготавливают формованием из легких сплавов, упрочняемых термической обработкой. Полуфабрикатом для этих деталей служат листы и профилированные плоские плиты, поставляемые в закаленном состоянии.

Схема процесса изготовления деталей оболочки самолета составляется из нескольких групп частных процессов, расположенных в определенной последовательности. Для выбора конкретной структурной схемы необходимо по информации чертежа определить основные признаки и дать чертежу детали цифровой

Цифровые шифры чертежа

Группа	Признаки	Цифровой шифр
	Содержание	
1	Свойства материалов:	
	упрочняемые термообработкой со старением	1
	упрочняемые термообработкой без старения	2
	не упрочняемые термообработкой	3
2	Состояние поставки материала:	
	отожженный	1
	закаленный или нормализованный	2
3	Процесс формообразования:	
	жесткосхемное деформирование (гибка, вытяжка и т. п.)	1
	мягкосхемное деформирование (прессование, редуцирование и т. п.)	2
4	Повторяемость деформирования:	
	одноразовое	1
	многократное	2

шифр, пользуясь табл. 11.4. В этой таблице даны четыре группы признаков, характерных для процессов изготовления деталей первого комплексного класса.

Например, для деталей оболочки одинарной кривизны из алюминиевых сплавов, упрочняемых термообработкой (см. рис. 11.3, а), из полуфабриката, поставляемого в закаленном состоянии, изготавливаемых гибкой одноразовым деформированием с последующим подслоиным покрытием, цифровой шифр чертежа будет 1211.

Для всех деталей, имеющих этот шифр, будет соответствовать принципиальная структурная схема процесса для $Z_{11} \rightarrow D_{11}$ в цифровом обозначении (см. рис. 11.2, строка 2)

$3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 14$,

где 3 — раскрой полуфабриката на заготовки; 4 — закалка со старением; 6 — правка перед деформированием; 7 — гибка; 10 — доводка формы; 11 — доводка размеров; 14 — подслоиное покрытие.

Для деталей оболочки сложной формы, изготавливаемых многократным деформированием полуфабрикатов, из сталей или титановых сплавов, поставляемых в отожженном состоянии и упрочняемых термообработкой (см. рис. 11.3, в), цифровой шифр чертежа

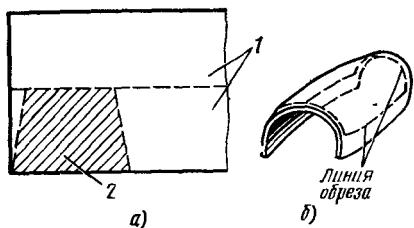


Рис. 11.4. Схема изготовления детали оболочки самолета двойной кривизны: а — раскрой листа на полосы 1 и полос на заготовки 2; б — заготовка после обтягивания на ОП-3

закалка с отпуском; 10 — доводка формы; 11 — доводка размеров; 14 — подслоное покрытие. Процессы 5 → 6 → 7 кратны многократному (в данном случае трехкратному) деформированию.

На рис. 11.2 показаны принципиальные схемы процессов изготовления деталей первого класса в группах частных процессов. В конкретных технологических процессах из групп выделяются частные процессы, которые состоят из разнообразных элементов (видов обработки), сочетающихся также в определенной последовательности.

В качестве примера рассмотрим содержание частных процессов, составляющих процесс изготовления детали двойной кривизны из алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, показанной на рис. 11.4, б, с применением для формования обтяжного пресса ОП-3.

Принципиальная схема процесса изготовления этих деталей будет аналогичной рассмотренной ранее для деталей одинарной кривизны (см. рис. 11.3, а). Изменится лишь содержание процесса формования. Если для формования деталей одинарной кривизны применяют гибку на КГЛ, ГЛС или на гибочных прессах, то детали двойной и знакопеременной кривизны обычно получают обтягиванием.

Частный процесс расконсервации и раскроя в данном случае будет состоять из следующих элементов: нарезка полос из листов на гильотинных ножницах; нарезка заготовок из полос (рис. 11.4, а); контроль габаритных размеров по ШЗ; удаление протектора (липкой бумаги) и смывка клеевой пленки с заготовки.

Частный процесс термической обработки — закалки — состоит из нагрева заготовки в воздушной печи или селитровой ванне, охлаждения в холодной воде, промывки в теплой воде; просушки и протирки салфетками.

Частный процесс подготовки к формованию включает снятие заусенцев на кромках заготовки и правку заготовки на многовалковым листопрямильном станке.

будет 2112. Этому шифру будет соответствовать принципиальная структурная схема процесса изготовления деталей для $Z_{12} \rightarrow D_{12}$ в цифровом обозначении (см. рис. 11.2, строка 2)

3 → 6 → 7 → 5 → 6 → 7 →
→ 5 → 6 → 7 → 9 → 10 → 11 →
→ 14,

где 3 — раскрой полуфабриката на заготовки; 6 — правка перед деформированием; 7 — формование; 5 — отжиг; 9 —

Частный процесс формирования на ОП-3 состоит из следующих элементов: смазка поверхности пуансона; установка на пуансон и закрепление заготовки в клеммах пресса; обтяжка заготовки; правка гофра без снятия давления; окончательная обтяжка заготовки; контроль прилегания заготовки к пуансону; снятие давления до свободного положения заготовки на пуансоне; установка кондуктора и сверление двух фиксирующих отверстий в заготовке; окончательное снятие давления и освобождение заготовки из клемм пресса (см. рис. 11.4, б).

Частный процесс доработки — доводки детали состоит из элементов: помещение заготовки на болванку для разметки под обрезку по контуру с фиксацией на два отверстия; установка шаблона ШЮК на заготовку с фиксацией на два отверстия; закрепление заготовки с шаблоном на болванке специальным прижимом; разметка заготовки по шаблону; раскрепление и снятие шаблона и заготовки с болванки; обрезка контура и вырезка отверстий (при их наличии) на заготовке по разметке; зачистка заусенцев и контроль готовой детали по КРС.

Частный процесс образования покрытия — анодирование будет состоять из элементов, содержание и последовательность выполнения которых подробно описаны в гл. 9.

Подобно рассмотренным ранее примерам выбираются принципиальные структурные схемы, выделяются и расшифровываются частные процессы при разработке конкретных технологических процессов изготовления деталей любого класса. При этом каждому конкретному технологическому процессу будут соответствовать вполне определенные частные процессы с присутствием из элементами — действиями оборудования и исполнителей, сочетающимися в закономерной логической последовательности. Дифференциация любого технологического процесса на первичные элементы — действия — необходима как для нормирования процесса, так и для синхронизации работы поточных и автоматических линий по такту, а следовательно, и для разработки автоматизированных систем проектирования технологических процессов.

§ 5. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АСПТП

Создание АСПТП на основе комплексного метода проектирования предполагает предварительную детальную разработку условно-постоянной и входной информации.

Условно-постоянная информация, очевидно, должна состоять из двух частей:

принципиальные структурные схемы процессов изготовления деталей для подклассов каждого комплексного класса;

массив разновидностей частных процессов с их унифицированными элементами и оснащением.

При этом вторая часть условно-постоянной информации может изменяться, дополняться новыми или отсутствующими разновид-

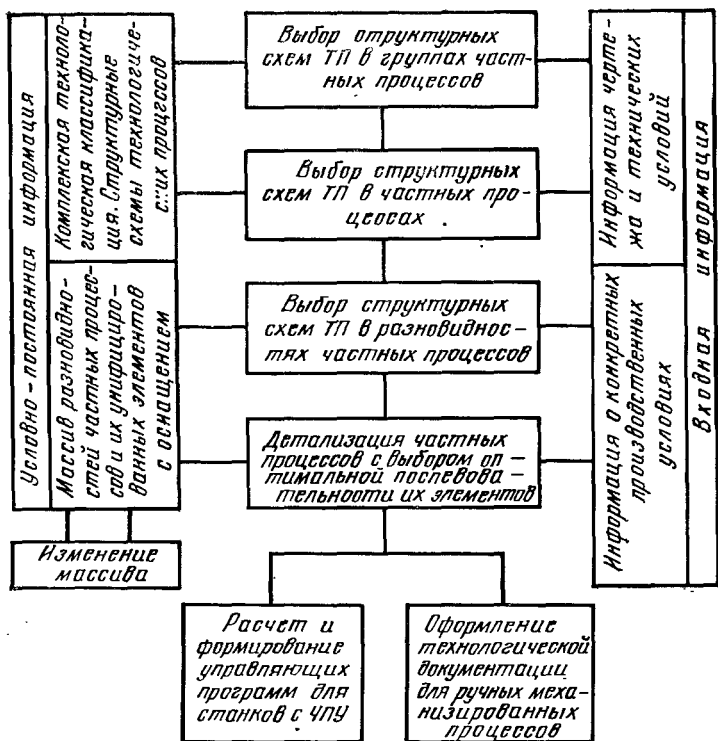


Рис. 11.5. Принципиальная схема интегральной АСПТП

ностями частных процессов с их унифицированными элементами и оснащением.

Входная информация также состоит из двух частей и содержит: информацию чертежа детали и технических условий, включающую геометрические и другие физико-механические параметры, а также признаки выбора структурных схем процессов изготовления конкретных деталей;

информацию о конкретных производственных условиях, включающую объем и программу выпуска деталей, организационные формы данного предприятия, а также правила рационального выбора разновидностей частных процессов и их элементов.

Условно-постоянная и входная информация представляется в удобном для использования ЭВМ виде — формализуется и конкретизируется в соответствии с применяемыми типом ЭВМ, формальным языком и системой счисления.

На рис. 11.5 представлена принципиальная схема интегральной АСПТП, в основу которой положен комплексный метод проектирования технологических процессов. Входная информация определяет последовательные действия ЭВМ по выбору из условно-

постоянной информации структурных схем процессов изготовления детали вначале в группах частных процессов, затем в частных процессах. После этого выбираются структурные схемы в разновидностях частных процессов и, наконец, производится детализация частных процессов с выбором оптимальной последовательности их элементов.

Результатом работы ЭВМ может быть оформление технологической документации для ручных — механизированных процессов или формирование управляющих программ для станков с ЧПУ.

Комплексный метод является одним из новых прогрессивных направлений в области проектирования технологических процессов. Очевидно, он может быть распространен не только на процессы изготовления деталей, но и на монтажно-сборочные и регулировочно-испытательные процессы. Однако для его полной реализации потребуется углубленная и трудоемкая разработка индуктивной типизации — классификации и унификации элементов технологических процессов, из которых составляется множество возможных конкретных технологических процессов.

Раздел третий

СБОРОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Глава 12

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МЕТОДЫ СБОРКИ И СБОРОЧНЫЕ БАЗЫ

§ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

У самолетов, вертолетов и других летательных аппаратов можно в качестве основных агрегатов выделить:

- планер;
- органы приземления (шасси);
- двигатели;
- системы управления, обслуживающие планер, двигатели и шасси;
- механизмы и агрегаты, обеспечивающие выполнение специальных функций;
- специальное оборудование и средства связи.

По конструкции и в технологическом отношении указанные агрегаты значительно отличаются друг от друга, поэтому изготовление их требует специализации производства. Так, например, проектированием и изготовлением планеров занимается специальные конструкторские бюро и заводы, составляющие специализированную отрасль авиационного производства — самолетостроение. Проектированием и изготовлением двигателей, приборов различного специального оборудования занимаются соответствующие специализированные отрасли авиационного производства: двигателестроение, приборостроение и др.

Самолетостроение представляет основное звено, связывающее между собой различные отрасли авиационного производства, так как на самолетостроительных заводах наряду с изготовлением и сборкой планера производится монтаж и проверка в действии двигателей, специального оборудования и прочих агрегатов самолета.

Планер самолета состоит из деталей, узлов, панелей, отсеков и агрегатов (рис. 12.1).

Деталью называется элементарная часть изделия, изготовленная из целого куска материала. Деталь является первичным элементом сборки.

Узлом называется несколько соединенных между собой деталей каркаса: сборные лонжероны, шпангоуты, нервюры и т. д.

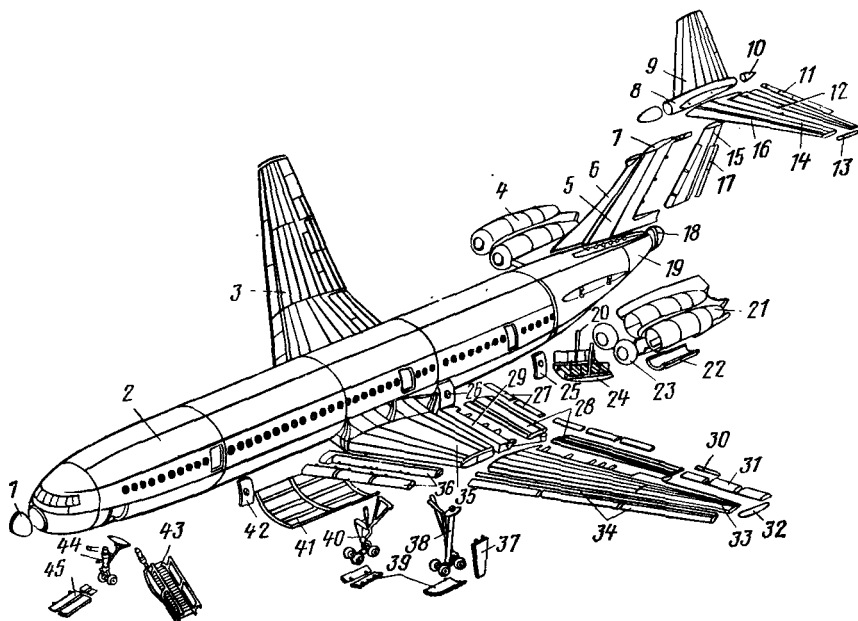


Рис. 12.1. Членение самолета:

1 — обтекатель антенны; 2 — передняя и средняя части фюзеляжа; 3 — крыло; 4 — силовая установка; 5 — киль; 6, 16 — носок киля и стабилизатора; 7, 14, 33, 35 — кессоны киля, стабилизатора, ОЧК и центроплана; 8 — обтекатель стабилизатора; 9 — стабилизатор; 10, 18 — кок стабилизатора и фюзеляжа; 11, 17, 30 — триммеры; 12 — руль высоты; 13, 32 — законцовка стабилизатора и ОЧК; 15 — руль направления; 19 — хвостовая часть фюзеляжа; 20 — гидродъемник трапа; 21 — гондола двигателя; 22 — створка гондолы; 23 — воздухозаборник двигателя; 24, 43 — трапы; 25, 26, 42 — двери; 27 — интерцентр; 28 — закрылки; 29 — хвостовая часть центроплана; 31 — элероны; 34, 36 — носок и предкрылок ОЧК и центроплана, 37, 39, 45 — щитки шасси; 38, 40, 44 — шасси; 41 — подкессонная панель

Панель представляет собой соединение нескольких деталей каркаса с обшивкой.

Агрегат является законченной в конструктивном и технологическом отношении частью планера, состоящей из панелей, узлов и деталей. Агрегаты — это крыло, фюзеляж, элерон, стабилизатор и т. д.

Отсек является частью агрегата.

В сборочных цехах самолетостроительного завода выполняются следующие виды работ:

сборочные, включающие установку деталей планера в сборочное положение, соединение их в узлы, панели и агрегаты. Сборка планера в целом является завершающим этапом этих работ;

монтажные, связанные с установкой на планере двигателей, приборов, систем управления и различного рода специального оборудования.

Объем сборочных и монтажных работ зависит от количества входящих в конструкцию планера деталей и количества устанавли-

ваемых на планере механизмов, приборов и специальной аппаратуры. Представление об объеме сборочных и монтажных работ могут дать следующие данные, относящиеся к четырехмоторному самолету. В конструкции планера такого самолета насчитывается до 60 000 различных деталей, на самолете устанавливается более сотни электродвигателей, 150 различных приборов, несколько радиостанций и монтируется несколько сот метров различных коммуникаций (электрических, гидравлических и пневматических систем).

Технология сборочных работ разрабатывается с учетом свойств материалов, из которых изготавливаются детали планера, и способов соединения деталей между собой.

При разработке технологии сборочных работ особое внимание должно быть уделено вопросам механизации и автоматизации этих работ, что позволяет быстрее осваивать новые изделия в серийном производстве и обеспечивает выпуск их в требуемых количествах.

В самолетостроении механизация и автоматизация сборочных работ развиваются по пути дальнейшего внедрения в производство клепально-сборочных и сварочно-сборочных станков и автоматов, механизации процессов установки и съема изделий из сборочных приспособлений — ступеней, механизации постановки болтов и винтов. Кроме того, создаются механизированные поточные линии для сборки узлов, панелей и агрегатов.

Необходимость членения планера самолета на детали, узлы, панели, отсеки и агрегаты диктуется требованиями производства и необходимостью иметь конструктивные, эксплуатационные разъемы и стыки.

На рис. 12.1 показано членение отдельных агрегатов самолета по конструктивным, технологическим и эксплуатационным стыкам и разъемам.

Наличие конструктивных разъемов обусловлено функциональным назначением выделяемых подконструкций. Так, например, конструктивные разъемы в крыле вызваны необходимостью присоединения к нему предкрылка 36 и элерона 31, которые должны изменять свое положение относительно крыла.

Технологические стыки создаются с учетом возможностей производства на данном этапе его развития и определяются, в частности, габаритными размерами оборудования. На рис. 12.1 показаны технологические стыки крыла, разделяющие его на носок 34, кессон 35, хвостовую часть центроплана 29 и законцовку 32. Отсеки состоят из деталей, узлов и панелей. Соединения деталей, узлов, панелей и отсеков в процессе сборки выполняются неразъемными, т. е. в виде технологических стыков.

Эксплуатационные разъемы и стыки создаются с целью замены, осмотра или регулирования различных механизмов и систем в процессе эксплуатации самолета. В некоторых случаях эксплуатационные разъемы вызываются ограничениями габаритных разме-

ров отдельных агрегатов по условиям их перевозки и хранения на складах.

Для обеспечения эксплуатации и подходов к элементам конструкции и отдельным механизмам наряду с эксплуатационными разъемами делаются различные специальные смотровые лючки, закрывающиеся крышками.

Конструктивные и эксплуатационные разъемы и стыки намечаются при проектировании агрегата, причем выбор места их расположения обычно не встречает затруднений; иначе обстоит дело с выбором технологических стыков, так как целесообразное в технологическом отношении членение конструкции зависит от многочисленных факторов, в том числе от программы производства, габаритных размеров отдельных агрегатов и отсеков, способа соединения деталей при сборке узлов, панелей и т. д.

Рациональное членение конструкции на отсеки, панели, узлы и детали позволяет существенно снизить массу, повысить ресурс и надежность конструкции в целом, что достигается резким сокращением объема соединений при одновременном увеличении габаритных размеров полуфабрикатов и деталей.

Значительное усложнение технологии получения полуфабрикатов, раскроя, формообразования и сборки компенсируется увеличением ресурса и уменьшением массы самолета.

Поэтому во всех возможных случаях функции конструктивных, технологических и эксплуатационных разъемов, стыков и вырезов (лючков) необходимо совмещать, уменьшая этим количество соединений конструкции.

При совмещении функций различных разъемов, стыков и лючков следует стремиться к наиболее полному удовлетворению эксплуатационных требований с целью обеспечения лучших подходов и минимального времени на осмотр и замену агрегатов, механизмов, приборов.

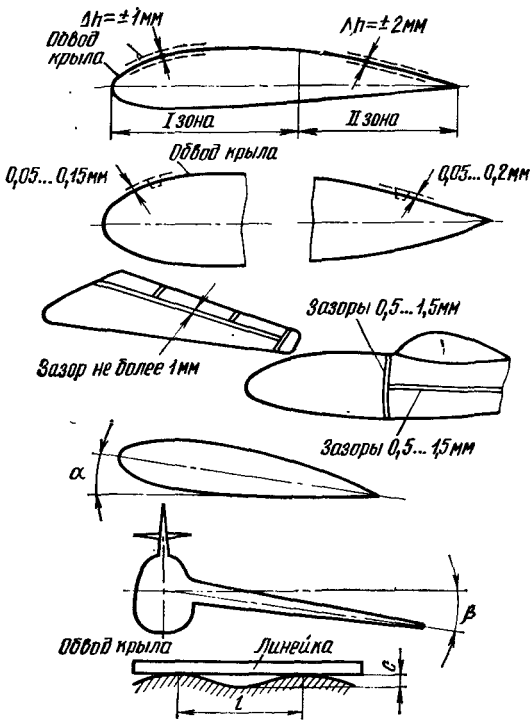
Сборка планера организуется по схеме параллельно-последовательных операций, начиная со сборки подузлов, узлов, панелей, агрегатов и кончая общей сборкой самолета или вертолета в целом.

На основе разработанной последовательности сборочных операций составляется схема сборки, которая является одним из основных технологических документов для сборочных цехов.

В схему сборки вносятся указания о порядке комплектования собираемого изделия деталями и узлами, а также технические требования на детали и узлы, определяющие, в каком виде они подаются на сборку.

Высокие требования предъявляются к деталям, входящим в стыковые соединения, так как малейшие их неточности приводят к большему доводочным работам и нарушают всю систему взаимозаменяемости деталей. Технологическая схема сборки, определяющая порядок сборки, является в то же время и основным исходным документом для разработки технических требований на сборочные единицы — детали, узлы, панели и агрегаты.

Рис. 12.2. Допуски на обводы и установочные углы отдельных агрегатов самолета



При сборке планера самолета необходимо учитывать жесткие требования в отношении точности воспроизведения его аэродинамических обводов и достижения заданной прочности узлов и агрегатов.

Эти требования и возможные допуски зависят от назначения самолета и указываются в технических условиях.

В качестве примера на рис. 12.2 приведены некоторые данные об отклонениях размеров по обводам и в местах стыков отдельных агрегатов самолета:

а) отклонения по обводам крыла даются для двух зон. В первой зоне допуск равен ± 1 мм, а во второй зоне ± 2 мм.

Допуск Δc на обводы крыла в поперечном его сечении представляет собой разность на одну сторону между соответствующими размерами полученного обвода и обвода шаблона ШК, а допуск Δc на плавность обводов, т. е. в продольном сечении крыла (вдоль его размаха) определяется выражением

$$\Delta c = cl,$$

где c — высота (глубина) волны; l — длина волны;

б) головки потайных заклепок могут выступать относительно поверхности обшивки в первой зоне крыла в пределах 0,05 ... 0,15 мм, во второй зоне — 0,05 ... 0,2 мм.

В этих же пределах допускаются и углубления в обшивке, получающиеся при точечной сварке;

в) зазоры в местах стыков отдельных листов обшивки на крыльях не должны быть более 1 мм, а на фюзеляже — не более 1,5 мм;

г) допуски на установочный угол α и на угол поперечного V крыла равны каждый ~ 6 мин.

При разработке технологических процессов сборки, приспособлений и инструмента при выборе оборудования для выполнения сборочных работ необходимо руководствоваться требованиями, предъявляемыми к точности собираемого узла или агрегата.

При сборке планера различают следующие основные виды работ:

узловая сборка, включающая сборку отдельных панелей, нервюр, лонжеронов, шпангоутов и т. д.;

агрегатная сборка, представляющая собой сборку отдельных отсеков и агрегатов;

общая сборка, т. е. сборка планера из агрегатов с последующим монтажом на нем различного оборудования, приборов и механизмов.

Объем сборочных работ определяется конструкцией планера, физико-механическими свойствами материалов, из которых он изготовлен, и видами заготовок, из которых изготовлены отдельные детали и узлы.

Трудоемкость сборочных работ для металлических самолетов клепаной конструкции составляет примерно 45 ... 50 % общей трудоемкости при изготовлении самолета. В изготовлении самолета узловая сборка составляет 12 ... 25 %, агрегатная сборка — 18 ... 20 % и общая сборка — 12 ... 15 %.

Приведенные данные о трудоемкости различных видов сборочных работ являются приближенными и определяют удельное значение этих работ при изготовлении самолета. Кроме указанных уже факторов, объем отдельных видов сборочных работ зависит от глубины проработки технологического процесса сборки, степени оснащения сборочных работ необходимым оборудованием и инструментом и качества поступающих на сборку деталей с точки зрения удовлетворения требований взаимозаменяемости.

С внедрением в конструкцию самолета монолитных деталей и панелей объем сборочных работ уменьшается, причем главным образом в результате уменьшения объема работ на узловой и агрегатной сборках.

§ 2. МЕТОДЫ СБОРКИ И СБОРОЧНЫЕ БАЗЫ

Сборка представляет собой совокупность технологических операций по установке деталей в сборочное положение и соединению их в узлы, панели, агрегаты и самолет в целом.

Последовательность выполнения сборочных операций во многом зависит от конструкции, габаритных размеров и жесткости собираемых деталей.

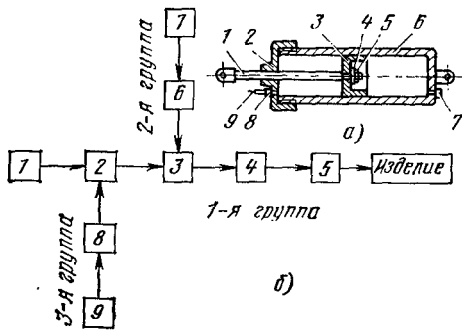


Рис. 12.3. Силовой цилиндр и схема его сборки по базовой детали:

a — эскиз цилиндра; *б* — схема сборки; 1 — шток; 2 — крышка; 3 — поршень; 4 — шайба; 5 — гайка; 6 — цилиндр; 7 и 8 — штуцеры; 9 — шланг

гие детали, входящие в собираемый узел. Этот метод применяется при сборке изделия из жестких деталей, сохраняющих под действием собственного веса свои форму и размеры. При этом входящие в изделие детали разделяют на несколько сборочных групп, каждую из которых собирают по базовой детали, входящей в данную группу.

Для пояснения процесса сборки по базовой детали рассмотрим сборку силового цилиндра управления посадочными щитками самолета.

На рис. 12.3 приведены чертеж цилиндра и схема его сборки. Как видно из схемы, в процессе сборки цилиндра базовыми являются различные детали. При сборке 1-й группы за базовую деталь берут шток 1 и устанавливают на него в указанной на схеме последовательности крышку цилиндра 2, поршень 3, шайбу 4 и гайку 5. Затем собирают 2-ю группу, т. е. штуцер 7 устанавливают на деталь 6 (во 2-й и других группах может быть две, пять и более деталей в зависимости от конструкции собираемого изделия), 2-ю группу соединяют с первой, при этом базовой является деталь 3. Группу 3-ю деталей 8 и 9 соединяют с 1-й группой по базовой детали 2.

При высоком качестве изготовления деталей (соблюдение заданных величин зазоров и натягов) цилиндр собирается быстро, так как не требуется подгонка и доработка деталей.

По базовой детали, как правило, изделия собирают на верстках, иногда применяют и приспособления, которые удерживают собираемое изделие и поворачивают его в удобное для сборщика положение.

Сборка по разметке — процесс, при котором взаимное положение деталей, входящих в узел, определяют непосредственно измерением расстояний между ними и по рискам, нанесенным на деталях при разметке.

Существует несколько методов сборки, отличающихся видом применяемого при сборке инструмента, сборочных приспособлений и оборудования. Наибольшее распространение из них получили: сборка по базовой детали, по разметке, по сборочным отверстиям и сборка с применением специальных сборочных приспособлений.

Сборка по базовой детали — процесс, при котором одну из деталей принимают за базовую и к ней в определенной последовательности присоединяют другие

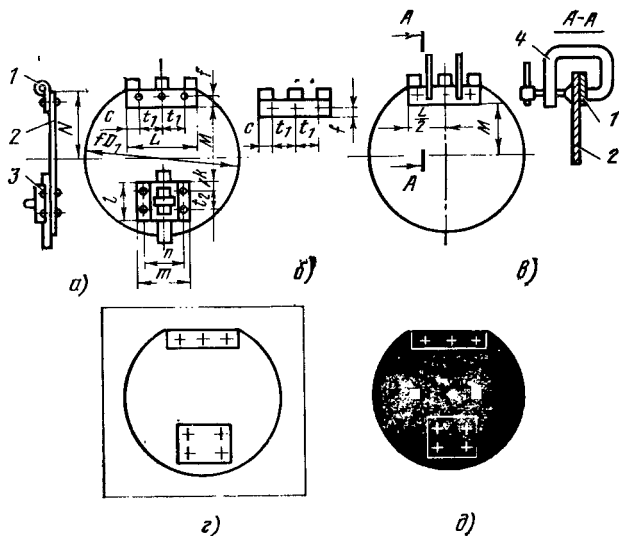


Рис. 12.4. Лючок и сборка его по разметке:
1 — петля; 2 — диск; 3 — замок; 4 — струбцина

Сборка по разметке производится при помощи универсальных слесарных инструментов и приспособлений (струбцин, чертилки, керны, метра, циркуля, ручных и настольных тисков и т. д.). Детали, поступившие на сборку, размечают вручную или фотоконтактным методом (по специальным шаблонам из винипроза).

Так, например, лючок, состоящий из петли, диска и замка (рис. 12.4, а) можно собрать двумя способами. Первый способ включает следующие операции:

разметку центров отверстий под заклепки в петле 1 по размерам c , t_1 , f и кернение центров отверстий (см. рис. 12.4, б);

установку петли 1 на диск 2 по размерам; $L/2$ и закрепление петли и диска струбцинами 4 (рис. 12.4, в);

сверление отверстий под заклепки в петле и в диске по накерненным центрам;

вставка заклепок в отверстие, расклепывание заклепок, снятие струбцин;

разметка отверстий под заклепки в замке, кернение центров, установка замка на диск, сверление отверстий, постановка заклепок, соединяющих замок с диском.

Процесс сборки по разметке включает много переходов, связанных с разметкой центров отверстий в каждой детали, кернением положения центров, измерением расстояний между деталями, установкой и снятием струбцин и т. д.

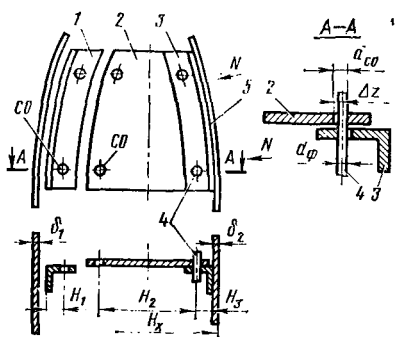


Рис. 12.5. Образование обводов агрегата при сборке с базированием по СО:
1 и 3 — профили; 2 — стенка; 4 — фиксатор; 5 — обшивка

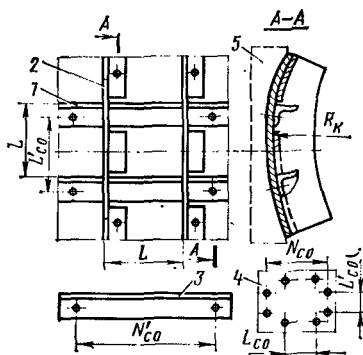


Рис. 12.6. Базирование деталей каркаса по СО:
1 — стрингеры; 2 — шпангоуты; 3 и 4 — расположение СО в стрингерах и обшивке; 5 — ложемент поддерживающего устройства

По второму способу сборка производится в следующем порядке: на листе винипроза (рис. 12.4, з) в натуральную величину наносят контуры диска, лючка, петли, замка и положение центров заклепок для крепления петли и замка к диску;

на заготовку диска наносят фотоэмульсию и просушивают ее;

на диск накладывают лист винипроза так, чтобы внешний контур диска, нанесенный на винипрозе, совпал с контуром металлического диска. Фотографируют и проявляют отпечаток на заготовке диска (рис. 12.4, д);

по полученному отпечатку сверлят в диске (предварительно меньшего диаметра) отверстия под заклепки;

на диск устанавливают петлю, совмещая ее контур с разметкой на диске, закрепляют петлю струбцинами (см. рис. 12.4, в) и сверлят отверстия в диске и петле по отверстиям в диске, вставляют заклепки и расклепывают их;

в таком же порядке устанавливают замок.

Установка деталей в сборочное положение по разметке — операция трудоемкая и длительная. Взаимозаменяемость узлов и панелей при сборке с разметкой практически невозможна.

Сборку по разметке на винипрозе применяют как в опытном, так и в серийном производстве при малых программах выпуска изделий.

Сборка по СО (сборочным отверстиям) — процесс, при котором взаимное расположение собираемых деталей определяется положением имеющихся на них сборочных отверстий. При базировании по СО собираемые детали совмещают друг с другом и на период соединения деталей в сборочные отверстия вставляют фиксаторы.

Базирование по СО возможно при образовании обводов агрегата (рис. 12.5) и установке в сборочное положение элементов продольного и поперечного набора (каркаса) (рис. 12.6).

Так, при сборке с образованием обводов агрегата размер внешнего обвода

$$H_{\Sigma} = \delta_1 + H_1 + H_2 + H_3 + \delta_2, \quad (12.1)$$

где δ_1, δ_2 — номинальная толщина обшивки.

Погрешность размера по внешнему обводу определяется из формулы

$$\Delta H_{\Sigma} = \Delta \delta_1 + \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta \delta_2 + 4 \Delta z + c_t. \quad (12.2)$$

Здесь H_1, H_2, H_3 — размеры, определяющие положение сборочных отверстий в деталях; $\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3, \Delta \delta_1, \Delta \delta_2$ — погрешности размеров $H_1, H_2, H_3, \delta_1, \delta_2$; Δz — зазор между диаметром сборочного отверстия d_{co} и диаметром фиксатора d_{Φ} (см. рис. 12.5); c_t — погрешность размера вследствие деформации и пружинения.

В случае базирования по СО элементов продольного или поперечного набора (см. рис. 12.5) погрешность замыкающего звена ΔL на размер L при применяемых процессах образования СО составляет $\pm(1,0 \dots 1,5)$ мм, что вполне удовлетворяет требованиям по точности расположения элементов продольного набора в стыкуемых узлах или панелях.

Сборка с базированием по СО при плоских узлах (панелях) производится на столах или с применением простейших приспособлений, которые в этом случае служат для поддержания деталей в сборочном приспособлении и не оказывают влияния на точность образования форм и обводов изделия. Сборочные отверстия в деталях сверлятся при изготовлении деталей по шаблону (плоским и объемным), по разметке, фотоконтактным методом или в приспособлениях для сверления.

Места расположения СО указываются в чертежах и схемах, составленных в конструкторском отделе серийного завода.

В соответствии с технологическим процессом сборки-клепки на схематических чертежах помимо СО наносят места расположения направляющих отверстий (НО) и установочных базовых отверстий (УБО). Если узел, панель предварительно собирают по СО, а отверстия и клепку выполняют на станках, прессах или автоматах с программным управлением, то для окончательной сборки требуются только СО. В случае сверления отверстий по НО на схему элементов каркаса или обшивки наносят положение НО. Диаметр направляющих отверстий принят $2,5A_3$. Расстояние между НО равно шагу размещения заклепок (болтов). Если по технологическому процессу сборки предусмотрена установка обшивки или стенки в процессе сборки на специальные установочные базовые отверстия — УБО, то их положение также наносят на схему.

В соответствии со схемой расположения СО, НО, УБО на эскизах узлов, панелей и отсеков составляют схемы расположения СО, НО, УБО на деталях.

§ 3. СБОРОЧНЫЕ БАЗЫ ПРИ СБОРКЕ В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

Сборочные приспособления обеспечивают требуемое взаимное положение собираемых деталей, определенное положение обрабатывающего инструмента относительно детали, придание формы недостаточно жестким деталям и узлам в процессе сборки. При этом создаются следующие преимущества по сравнению со сборкой по разметке;

исключается разметка и пригонка деталей;

ускоряется и облегчается процесс сборки;

достигается взаимозаменяемость собираемых узлов, панелей и агрегатов;

возможна механизация процесса сборки.

Этим и объясняется широкое применение сборочных приспособлений на серийных заводах при производстве самолетов и вертолетов.

В самолетостроении при сборке узлов и агрегатов в приспособлениях применяют специфические способы базирования, которые во многом зависят от месторасположения и назначения собираемых деталей в изделии. Так, при базировании деталей, определяющих внешние обводы агрегатов, в качестве баз используют поверхности деталей каркаса и обшивки, координатно-фиксирующие отверстия (КФО), а при базировании стыковых узлов и узлов крепления оборудования к элементам планера — отверстия под стыковые болты (ОСБ).

Сборка по базе «поверхность каркаса»

При такой сборке обшивки (или панели) устанавливаются на базовую поверхность каркаса и прижимаются к ней на период выполнения соединения.

Существует несколько вариантов этого метода базирования (рис. 12.7). На рис. 12.7, а показан случай, когда панель с элементами продольного набора устанавливается на каркас и прижимается силами $N-N$ к его поверхности. На рис. 12.7, б на каркас устанавливается обшивка, а на рис. 12.7, в — монолитная панель.

Для всех случаев размер собранного агрегата или отсека по внешнему обводу можно определить по выражению

$$H_x = H_k + \delta_1 + \delta_2, \quad (12.3)$$

где H_x — номинальный размер внешнего обвода собираемого изделия в рассматриваемом сечении; H_k — номинальный размер каркаса и его диаметр; δ_1 и δ_2 — номинальная толщина обшивок (панелей).

С учетом погрешностей получим

$$\Delta H_x = \Delta H_k + \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + c_i. \quad (12.4)$$

На рис. 12.7, г показан пример базирования по каркасу, когда обшивка присоединяется к каркасу при помощи клея или припоя

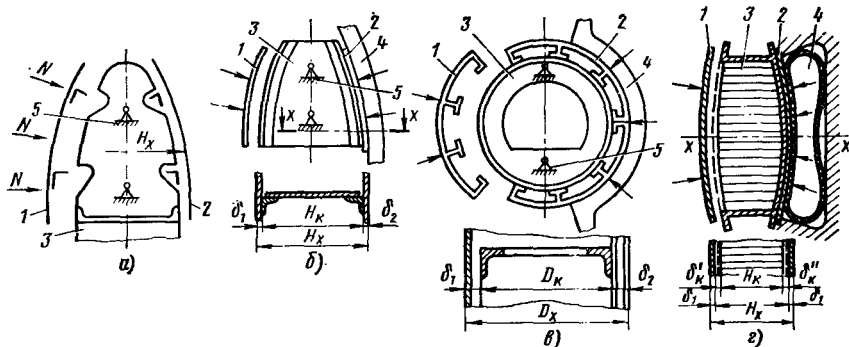


Рис. 12.7. Схемы базирования по поверхности каркаса:

1 — обшивка (панель) до установки на каркас; 2 — обшивка (панель), установленная на каркас; 3 — каркас; 4 — элементы сборочного приспособления, прижимающие обшивку к каркасу (стрелками показано направление прижима); 5 — фиксация каркаса в сборочном приспособлении

(пайка). При этих методах соединения погрешность внешнего обвода

$$\Delta H_{\text{в}} = \Delta H_{\text{к}} + \Delta \delta'_{\text{к}} + \Delta \delta_1 + \Delta \delta''_{\text{к}} + \Delta \delta_2 + c_i, \quad (12.5)$$

где $\Delta \delta'_{\text{к}}$ и $\Delta \delta''_{\text{к}}$ — погрешности по толщине слоя клея (припоя).

Рассмотренные варианты базирования по поверхности каркаса показывают, что отклонения ΔH_X в точности обвода изделия зависят от точности образования обводов каркаса, отклонений по толщине обшивок и толщине слоя связующего вещества (клея или припоя).

Если поверхность каркаса волнистая, это проявляется и на внешних обводах обшивки. Объясняется это тем, что жесткость каркаса больше жесткости обшивки, прижимаемой к нему силами $N-N$. После того как собираемое изделие извлекается из приспособления, обшивка, присоединенная к каркасу, не возвращается в исходное положение.

Сборка в приспособлении с базой «наружная поверхность обшивки»

При этом способе сборки обшивка (или панель) прижимается наружным обводом к опорным поверхностям приспособления на период соединения ее с каркасом.

На рис. 12.8 приведены различные варианты такого метода базирования.

Схема, приведенная на рис. 12.8, а, показывает, что панель прижимается силами Q к обводам рубильников 4. В этом положении панель соединяется с элементами каркаса 3. После постановки заклепок 5 наружный обвод обшивки соответствует внешнему

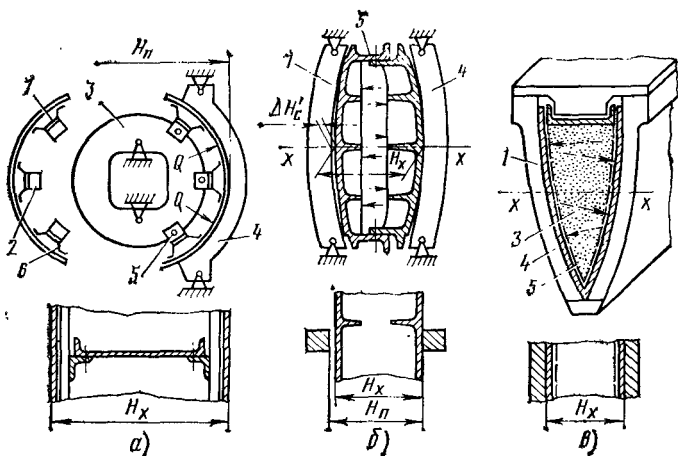


Рис. 12.8. Схемы базирования по наружной поверхности обшивки:

a — листовая конструкция; *б* — конструкция из монолитных панелей; *в* — конструкция с самовспенивающимся заполнителем; *г* — панель (обшивка); *д* — компенсатор; *е* — каркас; *ж* — рублинки (ограничительные плиты) приспособления; *з* — соединяющий элемент (заклепка, болт, клей); *и* — стрингер

обводу агрегата. Размер H_x по внешнему обводу в рассматриваемом сечении равен размеру приспособления

$$H_x = H_{\text{п}} \quad (12.6)$$

Размер H_x для схем, приведенных на рис. 12.9, *б* и *в*, определяется также по формуле (12.6).

Сборка в приспособлении с базой «внутренняя поверхность обшивки»

При этом методе базирования панель устанавливается в сборочное положение, опираясь внутренней поверхностью на базовые поверхности сборочного приспособления или на поверхности специальных макетных нервюр (рис. 12.9).

Собранные лонжероны *1* и *5* устанавливают на УБО на фиксаторы в кронштейнах *б* и закрепляют их в сборочном приспособлении. Затем устанавливают между лонжеронами макетные нервюры *7* на технологические болты, базировав их относительно лонжеронов по СО в приклепанных к лонжеронам профилях *9* и нервюрах *7*. Между макетными нервюрами располагают самолетные нервюры *4* с базой по СО, соединяя их с лонжеронами заклепками. На собранный таким образом каркас устанавливают панели *2* с укрепленными компенсаторами *3*. Для установки панелей существует два этапа — предварительный и окончательный. Предварительно одну из панелей (левую) накладывают на базовую поверхность макетных нервюр *7* и прижимают лентой *8* с усилием Q к макетным

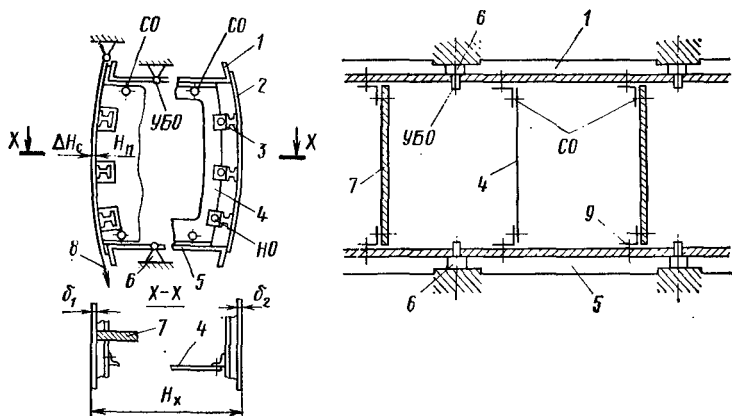


Рис. 12.9. Схема базирования по внутренней поверхности обшивки

нервюрам. В таком положении панели по НО в компенсаторах 3 сверлят отверстия под заклепки в самолетных нервюрах 4.

После сверления отверстий во всех установленных самолетных нервюрах панель вынимают из приспособления, устанавливают вторую панель (правую) и сверлят по НО в компенсаторах отверстия под заклепки в самолетных нервюрах. После сверления отверстий соединяют заклепками компенсаторы 3 с самолетными нервюрами 4. Затем снимают макетные нервюры и устанавливают на их место самолетные, базируя их на лонжеронах по СО. Вновь установленные самолетные нервюры соединяют с лонжеронами заклепками. Потом по НО в стригерах сверлят отверстия под заклепки во всех установленных самолетных нервюрах и соединяют их заклепками с компенсаторами.

Выполнив все соединения по правой панели с каркасом, окончательно устанавливают левую панель и заклепками соединяют установленные на ней компенсаторы с самолетными нервюрами.

После выполнения всего объема сборочных работ кесон вынимают из приспособления.

В собранном кессоне по внешнему обводу в сечении размер

$$H_x = H_{II} + \delta_1 + \delta_2. \quad (12.7)$$

Погрешность размера

$$\Delta H_x = \Delta H_{II} + \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + c_i, \quad (12.8)$$

где H_{II} размер приспособления (макетной нервюры); ΔH_{II} — погрешность размера H_{II} .

При замкнутой макетной нервюре за ΔH_{II} принимают погрешность размера H_{II} по ее дужке. При разомкнутой макетной нервюре (шпангоуте), когда отдельные ее части устанавливают на фиксаторы, $\Delta H'_{II} = \Delta H_{II} + 4\Delta z$, т. е. учитываются погрешности базирования составных частей макетной нервюры.

Сборка с базированием по КФО

Детали поперечного набора каркаса устанавливают в приспособлении и фиксируют их по специальным координатно-фиксирующим отверстиям — КФО на период соединения обшивки (панели) с деталями каркаса. Такие детали (шпангоуты, нервюры) поступают на сборку с просверленными в них координатно-фиксирующими отверстиями (КФО), такие же отверстия имеются и в элементах сборочного приспособления.

В процессе сборки детали 1 поперечного набора каркаса — шпангоуты — устанавливают в вилки 2 сборочного приспособления и фиксируют по КФО фиксаторами 3 (рис. 12.10). Затем части шпангоута соединяют между собой накладками 4 при помощи заклепок или болтов. На подготовленный таким образом каркас устанавливают панель 5 с продольным набором. Панель прижимают силой к каркасу с помощью лент 6 (или другим способом) и затем соединяют панель со шпангоутами.

Размер по внешнему обводу собранного агрегата

$$H_x = \delta_1 + H_1 + H_{\text{КФО-п}} + H_2 + \delta_2. \quad (12.9)$$

Погрешность размера по внешнему обводу

$$\Delta H_x = \Delta \delta_1 + \Delta H_1 + \Delta H_{\text{КФО-п}} + \Delta H_2 + \Delta \delta_2 + 4 \Delta z + c_i, \quad (12.10)$$

где $H_{\text{КФО-п}}$ — размер между координатно-фиксирующими отверстиями в вилках сборочного приспособления; $\Delta H_{\text{КФО-п}}$ — погрешность размера $H_{\text{КФО-п}}$.

При этом методе базирования сборка производится в приспособлениях упрощенной конструкции, не имеющих рубильников и ложементов.

Точность получаемых обводов, как и при базировании по каркасу, зависит от точности обводов каркаса, точности расположения КФО в деталях и элементах сборочной оснастки и точности обшивки по толщине.

Положение КФО в деталях выбирают кратным 50 мм относительно осей изделия.

Сверление и разделка КФО в деталях каркаса выполняется в заготовительно-штамповочных цехах по кондукторам или на специальном разметочном столе с системой плаз-кондукторных отверстий и линеек.

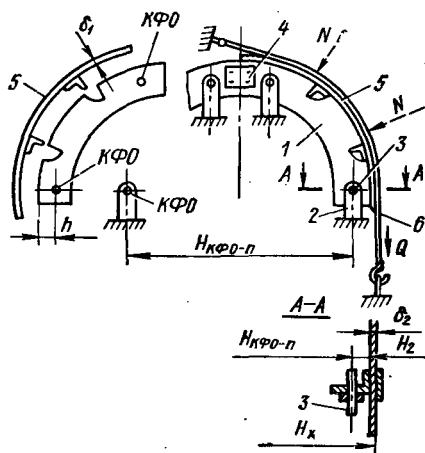


Рис. 12.10. Базирование по КФО:

1 — шпангоут; 2 — вилка; 3 — фиксатор;
4 — накладка; 5 — панель; 6 — лента

Базирование по отверстиям под стыковые болты (ОСБ)

Отверстия под стыковые болты в деталях совмещают с базовыми поверхностями приспособления и соединяют детали, образующие стык с элементами каркаса. Такой метод базирования применяется в нескольких вариантах.

На рис. 12.11, а показана схема базирования стыковой гребенки по отверстиям под стыковые болты (ОСБ). В этом случае базирующие болты вставляются в отверстия стыковой гребенки и отверстия стапельной плиты, определяя тем самым положение гребенки относительно обшивки, которая опирается на рубильники приспособления.

После сборки изделия и освобождения его из приспособления погрешности линейных и угловых размеров будут равны:

$$\Delta W_x = \Delta W_{\Pi} + c_i;$$

$$\Delta \alpha_i = \Delta \alpha_{\Pi} + \Delta \alpha_i,$$

где W_{Π} — размер в приспособлении между стыковыми поверхностями; α_{Π} — угол в приспособлении между базовыми осями и осями, определяющими положение стыковых узлов; $\Delta \alpha_i$ — отклонение угловых величин вследствие деформаций конструкции после сборки.

Примеры базирования стыковых узлов по ОСБ при помощи фиксаторов, установленных на плите приспособления, приведены

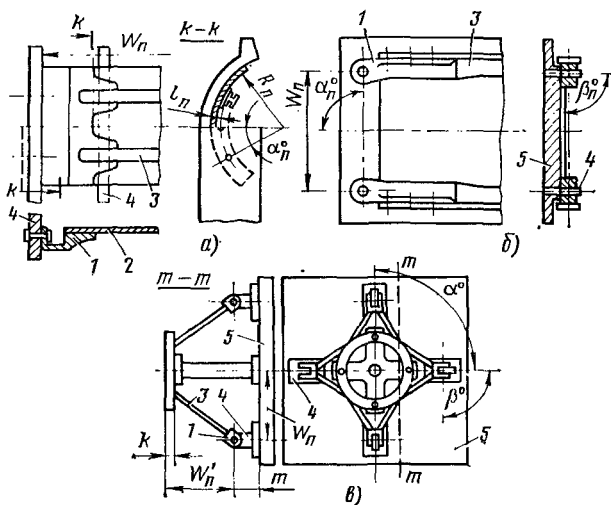


Рис. 12.11. Базирование деталей, входящих в стык, по ОСБ:

1 — стыковой узел (гребенка); 2 — обшивка; 3 — элементы каркаса собираемого изделия; 4 — базовые поверхности приспособления; 5 — каркас сборочного приспособления

на рис. 12.11, б и специальных ответных стыковых узлов — на рис. 12.11, в.

После установки на фиксаторы приспособления стыковых узлов их соединяют с элементами каркаса.

§ 4. ТОЧНОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ БАЗИРОВАНИЯ

При сборке одного и того же узла, панели, отсека, агрегата для установки деталей каркаса и обшивки в сборочное положение применяют различные сборочные базы. Так, например, при сборке кессона крыла (см. рис. 12.9) лонжероны в сборочное положение устанавливают по УБО, макетные и самолетные нервюры — по СО, а панели — по внутренней поверхности обшивки.

Во всех случаях применения при сборке одного изделия нескольких сборочных баз основным методом базирования считают тот, при котором формируется внешний обвод агрегата.

В соответствии с требованиями по точности внешних обводов самолета или вертолета определяют метод, удовлетворяющий этим требованиям. В табл. 12.1 приведена точность по внешнему обводу $\Delta H_x = 2\delta_{обв}$ (где $\delta_{обв}$ — отклонение обвода с одной стороны профиля) при различных методах базирования. Величины ΔH_x рассчитаны по формулам (12.1) ... (12.10).

Таблица 12.1

Технико-экономические показатели в % при сборке изделий с применением различных методов базирования

Метод базирования	Точность об- внешнего вода ΔH_x , мм	В сфере подготовки производства				В сфере основного производства		
		$G_{осн}$	$T_{осн}$	$C_{Tосн}$	$N_{осн}$	C_T	E	Π
По наружной поверхности обшивки	$\pm 0,7$	100	100	1000	100	100	100	100
По поверхности каркаса	$\pm 1,5$	95	95	90	90	115	95	120
По внутренней поверхности обшивки (при замкнутой макетной нервюре)	$\pm 2,0$	50	55	40	70	65	70	90
По сборочным отверстиям	$\pm 3,0$	50	45	40	60	70	65	80
По координатно-фиксирующим отверстиям	$\pm 2,5$	50	70	60	65	60	80	85

Обозначения: $G_{осн}$ — расход материала на сборочную оснастку; $T_{осн}$ — трудоемкость изготовления оснастки; $C_{Tосн}$ — себестоимость изготовления оснастки; $N_{осн}$ — количество сборочной оснастки; C_T — технологическая себестоимость сборки рассматриваемого в примере изделия; E — площадь, занимаемая сборочной оснасткой; Π — продолжительность цикла сборки изделия.

При удовлетворении требований по точности несколькими методами базирования выбирают тот, который имеет наилучшие технико-экономические показатели в сфере подготовки производства и сфере основного производства (см. табл. 12.1).

Приведенные в табл. 12.1 данные следует рассматривать как качественную оценку рассматриваемых методов базирования. Более точные количественные технико-экономические показатели по каждому методу базирования можно получить только для конкретного изделия при строго зафиксированном технологическом процессе.

Такие технико-экономические расчеты производят при разработке технологических процессов сборки конкретных изделий с использованием при расчетах ЭВМ (см. гл. 19).

§ 5. ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ, ПОСТУПАЮЩИМ НА СБОРКУ

Ранее уже отмечалось, что чем точнее изготовлены детали, тем легче их собирать. Отсюда изготовление с высокой точностью взаимозаменяемых деталей является одной из основных задач производства, его заготовительных и механообрабатывающих цехов.

Точности изготовления жестких деталей простой формы легко достигнуть, учитывая возможность применения к ним системы допусков и универсальных измерительных инструментов. При изготовлении самолетных деталей сложной формы и малой жесткости система нормальных посадок и допусков не обеспечивает требуемой точности, вследствие чего для контроля этих деталей применяются жесткие носители размеров и формы. Кроме того, на размеры некоторых деталей даются припуски, которые снимаются в процессе сборки. Размеры припусков и специальные требования вносятся в технические условия на поставку детали. Таким образом, детали, поступающие на сборку, должны соответствовать данным чертежа и удовлетворять техническим условиям на поставку.

К деталям, поступающим на сборку, предъявляются следующие основные требования.

А. По взаимозаменяемости:

соответствие в пределах установленных допусков фактических размеров детали ее размерам по чертежу;

воспроизведение требующегося по чертежу рельефа и формы (обводов, подсечек, малок);

правильность положения сборочных, направляющих и базовых отверстий относительно базовых осей контура;

Б. По прочностным и эксплуатационным характеристикам: использование материалов требующихся марок, выполнение условий термообработки, обеспечение требуемого качества поверхности и заданной массы;

применение заданных антикоррозионных и декоративных покрытий;

В. По специальным требованиям, оговариваемым в чертежах, технических и технологических условиях:

выдерживание заданных зазоров между склеиваемыми или герметизируемыми поверхностями;

сохранение перпендикулярности осей отверстий для стыковых болтов к торцам стыковых шпангоутов;

наличие припусков на обработку после сборки в разделочных стендах отверстий и торцевых стыковых гребенок.

Требования к деталям, поступающим на сборку, разрабатывают после того, как сделан выбор методов базирования и составлены согласованные с соответствующими цехами схемы сборки агрегатов, отсеков узлов.

§ 6. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ

Соединение деталей, узлов, панелей и агрегатов самолетов и вертолетов при сборке производится различными способами. Применяемые в самолетостроении соединения разделяют на: *неподвижные неразъемные* (клепка, сварка, пайка, склеивание), *неподвижные разъемные* (болтовые и винтовые) и *подвижные разъемные* (шарнирные соединения, болтовые, валы и подшипники).

Неподвижные неразъемные соединения и неподвижные разъемные соединения обеспечивают неизменное положение собираемых деталей и узлов друг относительно друга. Подвижные соединения допускают такие перемещения.

По конструктивно-технологическим признакам соединения разделяют на:

а) соединения, выполняемые силовыми точками (заклепками, болтами, сварными точками). Характерными признаками таких соединений являются: ослабление соединяемых деталей из-за отверстий под заклепки и болты и нагрева деталей в зоне постановки сварных точек; концентрация напряжений в детали в зоне постановки силовой точки при нагружении конструкции; невысокая производительность труда при постановке силовых точек вследствие прерывистости выполнения соединений;

б) соединение непрерывным швом (сварка роликовая и плавлением, склеивание, пайка). Характерные признаки таких соединений: ослабление соединяемых деталей при их нагреве в процессе сварки, склеивания, пайки; значительная концентрация напряжений в детали в зоне шва; непрерывность процесса соединения, облегчающая механизацию и автоматизацию;

в) комбинированные соединения (точечная сварка + склеивание, клепка - склеивание, клепано-болтовое соединение). Такие соединения обладают всеми признаками соединений силовыми точками и непрерывным швом.

Выбор того или иного вида соединения зависит от конструкции самолета и материалов, из которых изготовлены его отсеки, узлы и детали.

В конструкциях самолетов из легких сплавов преобладающим видом соединения является клепка. При изготовлении самолетов из сталей и титана (имеется в виду обшивка) соединения выполняют электроконтактной и дуговой сваркой.

При применении в конструкции самолета монолитных панелей и узлов количество клепаных и сварных соединений уменьшается, но увеличивается количество болтовых соединений. Монолитные узлы и панели в этих случаях соединяют между собой и с обшивкой болтами.

Для конструкций из композиционных материалов (КМ) наибольшее применение находят клепаные, клее-клепаные и штифто-болтовые соединения. В вертолетостроении широкое применение получили клеевые и клееболтовые соединения. Для соединения пакетов больших толщин и смешанных пакетов (КМ + металл) эффективно использовать болты и болт-заклепки.

Глава 13

СБОРКА УЗЛОВ И ПАНЕЛЕЙ КЛЕПАНОЙ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КЛЕПКИ И ТИПЫ ЗАКЛЕПОК

При сборке узлов, панелей и агрегатов самолетов и вертолетов из легких сплавов клепка до настоящего времени остается наиболее распространенным видом неразъемного соединения, так как она обеспечивает требуемую надежность и ресурс работы агрегатов планера.

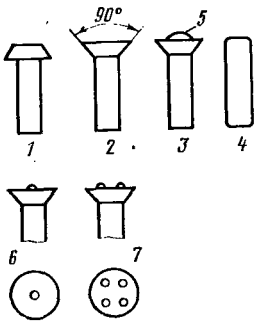
В самолето- и вертолетостроении применяется большое количество различных типов заклепок. Для открытых мест конструкции, где возможен двухсторонний подход в зону клепки, применяют обычные стержневые заклепки. При клепке закрытых мест, когда подход к одной из головок заклепок невозможен, применяют специальные заклепки для односторонней клепки.

Обычные — стержневые заклепки изготовляют из легких сплавов и сталей с потайными или выступающими закладными головками.

Наиболее распространенные типы заклепок приведены на рис. 13.1. Все применяемые в самолетостроении заклепки стандартизированы, имеют шифр, указывающий форму закладной головки, марку материала, диаметр и длину.

Заклепки из алюминиевых сплавов имеют предел прочности на срез $\tau = 180 \dots 280$ МПа, стальные заклепки — $\tau = 350 \dots 500$ МПа.

Рис. 13.1. Виды заклепок:



1 — с плоской закладной головкой — ЗП; 2 — с потайной закладной головкой ЗУ — 90° или ЗУ — 120° ; 3 — с компенсатором ЗУК; 4 — стержневая; 5 — компенсатор; 6 — маркировка материала Д 18 на головке заклепки; 7 — маркировка материала Д19П на головке заклепки

Заклепки из сплавов В65 и Д18П термически обрабатываются один раз при изготовлении и ставятся в конструкцию после естественного старения. Заклепки из термически стойкого сплава Д19П ставятся в конструкцию в свежезакаленном состоянии не позднее 2 часов после заковки и их применяют только в тех конструкциях, которые нагреваются в процессе полета. В соединениях обтекаемых воздушным потоком, обычно применяются заклепки с потайными головками. На современных самолетах такие заклепки составляют примерно 65 ... 70 % от общего количества заклепок в самолете.)

Технологический процесс клепки, состав операций и их последовательность во многом определяются требованиями обеспечения ресурса и герметичности, типом заклепок, методом сборки. Рассмотрим этот процесс на примере выполнения потайного негерметичного шва по следующим операциям (рис. 13.2):

I — образование отверстия диаметром d_0 под заклепку. Отверстие под заклепку можно получить сверлением или пробивкой;

II — образование гнезда под головку потайной заклепки под размер $h_{з.г}$ зенкованием (при $\delta_1 > h_{п.г}$) или штамповкой листов (при $\delta_1 < h_{п.г}$);

III — вставка заклепки в отверстие; после вставки стержень заклепки должен выступать на размер l_3 . Из выступающей части стержня образуется замыкающая головка заклепки;

IV — образование замыкающей головки заклепки размером $h_{з.г}$ прессованием или ударом. При образовании замыкающей

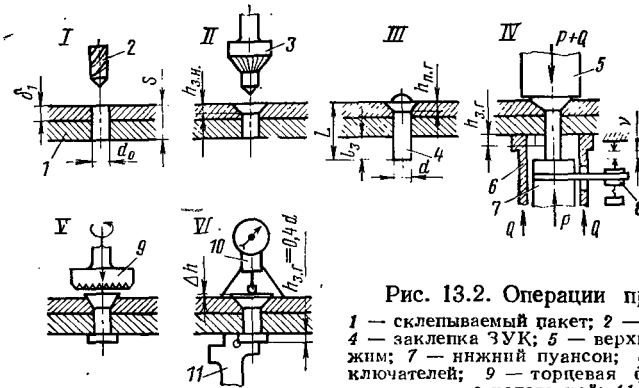


Рис. 13.2. Операции процесса клепки:

1 — склепываемый пакет; 2 — сверло; 3 — зенковка; 4 — заклепка ЗУК; 5 — верхний пуансон; 6 — прижим; 7 — нижний пуансон; 8 — система микровыключателей; 9 — торцевая фреза; 10 — индикатор с подставкой; 11 — шаблон

головки прессованием вначале пакет сжимается силой Q , а затем усилием P осаживается стержень и образуется замыкающая головка размером $h_{з.г}$. При достижении размера $h_{з.г}$ срабатывает система микровыключателей, и прессование прекращается. В случае кленки ударом с помощью пневматического клепального молотка высота замыкающей головки $h_{з.г}$ определяется рабочим-клепальщиком по интуиции, выработанной длительной тренировкой;

V — снятие путем механической обработки излишнего материала для получения требуемой величины выступания Δh (операция выполняется для швов, к которым предъявляется высокая степень точности);

VI — контроль выступания потайных головок и размеров замыкающих головок заклепок.

Каждая из перечисленных операций процесса кленки выполняется на специальном рабочем месте — станке, прессе; при автоматической клепке операции $I \dots V$ осуществляются на одном сверльно-клепальном автомате.

При раздельном выполнении операций качество работы в значительной степени зависит от состояния оборудования и квалификации исполнителей. При таком методе работы после каждой операции контролируют ее качество.

При автоматической клепке выполнение отдельных операций и переходов контролируется при наладке — настройке автомата. Независимо от того, как производится процесс клепки, на отдельных видах оборудования или в комплексе на одном автомате, соединение контролируют в законченном виде на узле панели или агрегате (см. рис. 13.2, VI).

Технологический процесс клепки конструкций из КМ включает в себя известную последовательность операций: образование отверстий и гнезд, вставку заклепок, образование замыкающих головок, контроль. Однако специфические свойства КМ — гетерогенность структуры, малое относительное удлинение при разрушениях, значительное абразивное воздействие армирующих волокон — существенно изменяют процесс резания и формообразования заклепок при выполнении клепаных соединений. Поэтому для обеспечения требуемого качества клепаных соединений КМ технологический процесс, оборудование, инструмент, заклепки проектируются с учетом особенностей механических свойств КМ.

§ 2. ОБРАЗОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ И ГНЕЗД ПОДАЙНЫХ ЗАКЛЕПОК

Отверстия для заклепок в соединяемых деталях сверлят или пробивают. Наиболее распространенным способом является сверление отверстий, так как при этом они получаются более качественными. Прочность заклепочных соединений с пробитыми для заклепок отверстиями меньше, чем таких же соединений со сверленными отверстиями.

Для повышения прочности заклепочных соединений с пробитыми для заклепок отверстиями необходимо пробивать отверстия меньшего по диаметру размера, а затем рассверливать или протягивать их до требуемого размера. При сверлении отверстий для заклепок сверло должно быть по размеру диаметра на 0,1 ... 0,2 мм больше номинального диаметра заклепки. Это позволяет легко вставлять заклепку в отверстие и обеспечивает хорошее заполнение отверстия стержнем заклепки.

Сверление отверстий производится несколькими способами, которые отличаются применяемым инструментом и оборудованием, условиями подхода в зону сверления, методом координации сверла по центру отверстия и т. д.

В зависимости от технологического процесса сборки-клепки и применяемого при этом инструмента и оборудования сверление и зенкерование гнезд можно выполнять:

раздельно в каждой соединяемой детали;

одновременно во всех деталях, входящих в собранный пакет;

одновременно за один ход инструмента сверлят отверстия во всех деталях пакета и зенкуют гнездо в верхней детали при помощи сверла-зенковки.

Наиболее совершенным является сверление и зенкование деталей во всем собранном пакете специальным инструментом — сверлом-зенковкой. При этом способе хорошо совпадают отверстия во всех деталях соединяемого пакета и центр отверстия с центром гнезда под потайную головку заклепки. При применении сверла-зенковки трудоемкость выполнения сверлильно-зенковальных работ меньше, чем при раздельном сверлении и применении двух инструментов — сверла и зенковки.

В зависимости от конструкции изделия и оборудования для сверления и зенкования отверстий используются различные методы и средства для координации — установки сверла по центру отверстия: по шаблонам, кондукторам, направляющим отверстиям (НО) или на станках с программным управлением. В исключительных случаях, при трудном подходе в зону сверления, когда требуется просверлить несколько отверстий, сверлят по разметке.

В авиационной промышленности наиболее распространены следующие виды сверлильно-зенковального оборудования:

ручные пневматические и электрические дрели;

универсальные сверлильные станки;

специальные сверлильно-зенковальные станки (автоматы) и установки;

сверлильно-зенковальные и агрегатные головки.

Область применения того или иного вида оборудования зависит от степени членения самолета, условий подхода в зону сверления, конструкции и габаритных размеров узла, панелей, отсеков, программы выпуска изделий.

В настоящее время 40 ... 50 % отверстий сверлят и зенкуют ручными пневматическими дрелями, а остальные обрабатывают на

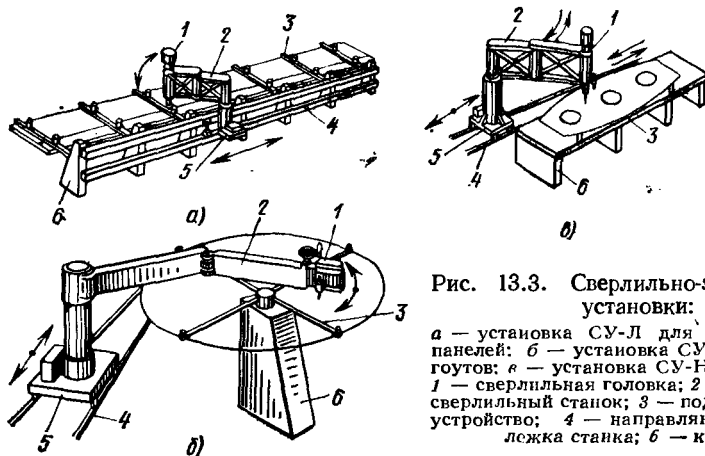


Рис. 13.3. Сверлильно-зенковальные установки:

а — установка СУ-Л для лонжеронов и панелей; б — установка СУ-Ш для шпангоутов; в — установка СУ-Н для нервюр; 1 — сверлильная головка; 2 — радиально-сверлильный станок; 3 — поддерживающее устройство; 4 — направляющие; 5 — тележка станка; 6 — колонны

универсальных сверлильных, агрегатных станках и специальных сверлильно-зенковальных установках. В промышленности систематически ведутся работы по увеличению объема механизации и автоматизации сверлильно-зенковальных операций, совершенствуются конструкции самолетов и вертолетов, разрабатываются и внедряются новые сверлильно-зенковальные станки, автоматы и установки.

При сверлении отверстий для обеспечения перпендикулярности оси сверла к обрабатываемой поверхности изделия в дрели закрепляют специальную центрирующую насадку. В случае одновременного сверления и зенкования гнезда в дрели закрепляют зенковальную насадку, использование такой насадки позволяет получать требуемую глубину гнезда под головку потайной заклепки. Глубина гнезда регулируется путем установки упора на заданный размер гнезда.

Пневматические дрели применяют главным образом на агрегатной и общей сборке, где использование станков и автоматов невозможно.

Универсальные сверлильные станки используют для сверления отверстий в полках лонжеронов и нервюр, стыковых профилях и узлах.

Установки для сверления и зенкования плоских узлов и панелей komponуются с использованием универсальных станков, нормализованных сверлильных головок (агрегатов), элементов сборочных приспособлений и систем управления работой металлорежущих станков.

На рис. 13.3 приведены схемы установок для сверления или сверления и зенкования отверстий в узлах типа лонжерона, шпангоута, нервюры и плоской панели. На этих установках можно сверлить (зенковать) отверстия в узлах и панелях с продольным, поперечным и произвольным расположением швов герметичных и

негерметичных соединений. Каждая из установок состоит из сверлильной головки 1, радиально-сверлильного станка 2, поддерживающего устройства 3 для закрепления обрабатываемого изделия, направляющих 4, по которым перемещается тележка 5 радиально-сверлильного станка, и колонн 6, на которых крепится поддерживающее устройство.

При выполнении сверлильно-зенковальных работ узел или панель устанавливают на поддерживающее устройство (стол) и закрепляют на нем. Отверстия в узлах и панелях при установке заклепок с выступающими (непотайными) головками сверлят по НО в стрингерах, по кондуктору или по разметке.

В случае применения потайных заклепок процесс сверления и зенкования может выполняться в двух вариантах. В одном из вариантов панель устанавливают на стол установки обшивкой вниз. В таком положении панели по НО в стрингерах сверлят сквозные отверстия, затем панель поворачивают, т. е. устанавливают на стол стрингерами вниз. По отверстиям в панели зенкуют гнезда под головки потайных заклепок зенковкой с направляющим штифтом. При другом варианте технологического процесса панель устанавливают стрингерами вниз и производят одновременное сверление — зенкование отверстий сверлом-зенковкой по кондуктору или разметке. Установку сверла по центру отверстия, подачу его на глубину сверления и перемещение сверлильно-зенковального станка вдоль направляющих оператор производит вручную. Для сверления и зенкования отверстий в узлах и панелях больших габаритных размеров применяют специальные сверлильные станки и стелды порталного типа или в виде специальных сверлильно-зенковальных установок.

На рис. 13.4 показана сверлильно-зенковальная установка для сверления и зенкования отверстий в панелях одинарной кривизны. На этой установке возможно сверление и зенкование отверстий в стрингерах и шпангоутах. Производительность установки 20 ... 25 отверстий в минуту.

При сверлении отверстий в продольных швах панель фиксируется в неподвижном состоянии, а головка СЗА-02 и прижим перемещаются вдоль шва. Головка и прижим устанавливаются в требуемое положение (центр отверстия) по копирам автоматически. При сверлении отверстий в поперечных швах — шпангоутах — головка и прижим фиксируются в неподвижном состоянии, а панель поворачивается на требуемый угол в зависимости от расстояния между отверстиями.

В ряде случаев сверлильная головка устанавливается на специальной траверсе, крепящейся непосредственно на сборочном приспособлении, что упрощает оснастку. Наиболее рационально устанавливать в стапелях сверлильно-зенковальные агрегаты СЗА-02. В этом случае подача сверла на требуемую глубину, вывод его из отверстия и перемещение головки со сверлом на шаг отверстий в копире происходит автоматически. Для штамповки гнезд

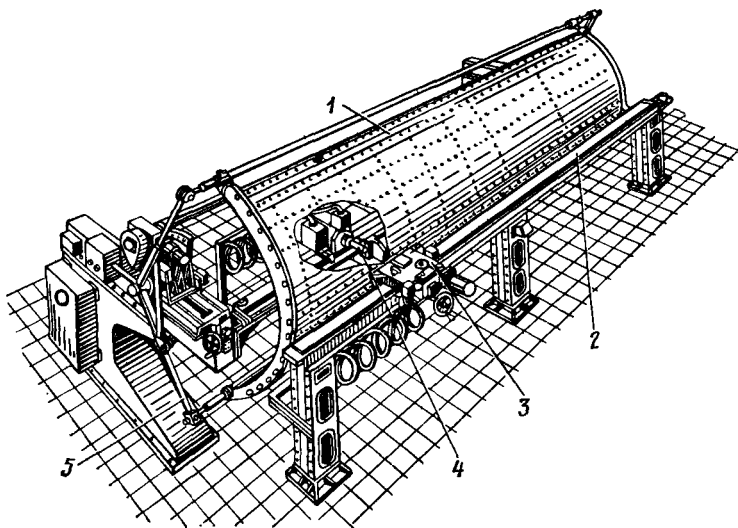


Рис. 13.4. Сверлильно-зенковальная установка СЗУ-Ф1:

1 — панель; 2 — копир; 3 — головка СЗУ-02; 4 — прижим; 5 — рама для установки панели

под потайные головки заклепок применяются специальные приспособления, в которых геометрия матрицы и пуансона увязана с размерами и формой головки заклепки.

Технологический процесс получения отверстий и гнезд для головок заклепок является частью общего технологического процесса сборки узла, панели или агрегата.

Существуют следующие три схемы технологического процесса сборки:

первая схема, в которой сначала в каждой детали отдельно с помощью соответствующих кондукторов и приспособлений сверлят отверстия и зенкуют гнезда для заклепок, после чего детали собирают и соединяют клепкой;

вторая схема отличается от первой тем, что сначала детали собирают в приспособлении (стапеле), затем по направляющим отверстиям в одной из деталей сверлят отверстие для заклепок в другой и после этого детали соединяют клепкой.

В этой схеме наиболее распространен вариант процесса сборки, в котором по направляющим отверстиям в деталях каркаса сверлятся отверстия в обшивке (со стороны каркаса), а по полученным таким образом отверстиям в обшивке уже зенкуют или штампуют гнезда для головок заклепок;

третья схема, в которой сначала детали каркаса и обшивки собирают в приспособлении (стапеле) и сверлят в них отверстия для контрольных заклепок или болтов. После постановки контрольных заклепок или болтов собранные узлы или панели передают на

сверлильный станок для сверления всех отверстий и зенкования в них гнезд для головок заклепок и затем на прессы для клепки.

Основными способами образования отверстий в КМ являются сверление, пробивка и формование. Для КМ, обладающих повышенным абразивным воздействием, например, КМ, армированных волокнами бора, целесообразно применять пробивку.

В элементах конструкции из КМ, получаемых методом выкладки или намотки, возможно получать отверстия и гнезда формованием на стадии, предшествующей полному отверждению КМ. Некоторое снижение прочности КМ на смятие для формованных отверстий компенсируется отсутствием перерезания волокон КМ.

Сверление отверстий производят сверлами из твердых сплавов марок ВК6М, ВК8, ВК10М. Сверла из быстрорежущей стали используются в порядке исключения в труднодоступных местах, когда требуются удлиненные или специальные сверла, так как значительное абразивное воздействие армирующих волокон на инструмент приводит к его интенсивному износу и снижению качества отверстий.

Упругость КМ приводит к возникновению упругого последствия при резании, что увеличивает площадь контакта и силы трения по задней поверхности инструмента, а также приводит к усадке отверстий при сверлении и зенковании. Поэтому режущие части инструмента должны иметь увеличенные задние углы, а диаметр мерных сверл и зенковок должен быть несколько больше диаметра отверстия. Допустимый износ сверл и зенковок не должен превосходить $\delta_s = 1 \dots 1,5 \cdot 10^{-4}$ м.

В целях повышения качества гнезд и снижения износа инструмента целесообразно использовать шестизубые зенковки.

При сверлении отверстий в деталях из КМ принято назначать несколько меньшие скорости резания V и особенно подачи S , чем при сверлении отверстий в деталях из легких сплавов. Для образования отверстий и гнезд в деталях из КМ можно использовать в основном существующее сверлильно-зенковальное оборудование. Предпочтение следует отдавать оборудованию с регулируемой подачей инструмента, что имеет большое значение при образовании отверстий в смешанных пакетах.

Сверление на станках с ручной подачей и пневмодрелями однородных и смешанных пакетов, имеющих двухсторонний доступ, рекомендуется производить в два прохода: вначале сверлить со стороны более прочной детали, имеющей большую толщину, затем рассверливать со стороны тонкой детали для однородных и со стороны КМ — для смешанных пакетов. Данное требование вызвано разницей в усилиях резания КМ и металла (особенно сталей и титановых сплавов), в результате чего при сверлении со стороны металла из-за невозможности сохранения равномерной подачи инструмента отверстие в КМ получается типа «проткнутого» с рваными краями и значительной ворсистойостью. Сверление на станках с регулируемой подачей однородных пакетов с двухсторон-

ним доступом производится со стороны детали, имеющей большую толщину, а смешанных пакетов — со стороны металлической детали. Для смешанных пакетов, имеющих односторонний доступ, следует предусматривать разборку пакета и удаление заусенцев на кромках отверстий.

§ 3. КЛЕПКА ПРЕССОВАНИЕМ И УДАРОМ

Процесс клепки заключается в осаживании выступающей части стержня заклепки и формировании из него замыкающей головки требуемой формы. В самолетостроении наиболее распространенной является плоская форма замыкающей головки заклепки.

Общая длина заклепки L , необходимая для соединения пакета толщиной S , определяется из соотношения (см. рис. 13.2)

$$L = S + l_3, \quad (13.1)$$

где l_3 — припуск на замыкающую головку. По нормальям

$$l_3 \approx 1,3d.$$

Образование замыкающей головки происходит методом прессования или ударом. При прессовой клепке применяют клепальные прессы или автоматы, а при ударной — пневматические клепальные молотки.

Прессовая клепка характеризуется тем, что замыкающая головка заклепки формируется при равномерном сжатии стержня. Прессовую клепку различают одиночную и групповую. При одиночной клепке за один ход прессы расклепывается одна заклепка, а при групповой несколько.

Клепальные прессы по эксплуатационному признаку разделяются на *стационарные* и *переносные*.

Возможность применения того или иного типа прессы зависит от подходов к месту клепки, диаметра расклепываемых заклепок, размеров узлов и панелей и других конструктивных и технологических факторов. В промышленности применяется большое количество различных прессов для групповой и одиночной клепки.

В табл. 13.1 приведены технические характеристики некоторых прессов, по которым выбирают требуемый для клепки тип прессы.

Некоторые типы прессов приведены на рис. 13.5.

Рассмотрим в качестве примера принципиальную схему работы полуавтоматического прессы типа КП-602, предназначенного для групповой клепки плоских или одинарной кривизны узлов и панелей (рис. 13.6). Пресс состоит из станины 1, нижней и верхней 2 клепальных головок и выравнивающего устройства 4.

Склепываемую панель 9 устанавливают на тележку 10 выравнивающего устройства 4. Тележка вместе с панелью может от привода электродвигателя передвигаться по специальным направляющим 11, расположенным по обеим сторонам станины прессы и образующим эстакаду.

Технические характеристики клепальных прессов

Тип пресса	Число заклепок из алюминиевого сплава, расклепываемых за один ход пресса					Усилие, на плунжере, кН
	3 мм	4 мм	5 мм	6 мм	7 мм	
КП-602	—	До 36	До 22	16	8	700
КП-501А	28	15	10	7	4	300
КП-503М	25	12	8	—	3	250
КП-403М	12	6	4	3	1	120
КП-405М	12	6	4	3	1	120
КП-204М	2	—	—	1	—	50
Г6-25-55К	—	—	—	1	—	50

Тип пресса	Число рабочих ходов в минуту	Расстояние от пола до центра проема пресса, мм	Проём пресса, мм		Габаритные размеры, мм		
			вылет	зев	длина	высота	ширина
КП-602	3—4	1700	4600	2300	28 000	4100	6700
КП-501А	12—20	1400	1050	600	2 500	2400	930
КП-503М	5—14	1400	1200	1000	2 700	2450	700
КП-403М	12—24	1300	760	1000	1 800	2400	500
КП-405М	15—20	1350	300	700	2 700	2450	700
КП-204М	15—25	1150	1100	260	1 700	1800	800
Г6-25-55К	До 20	—	50	50	170	170	35

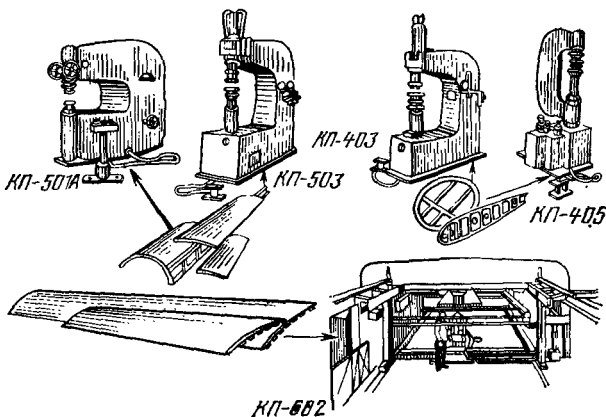
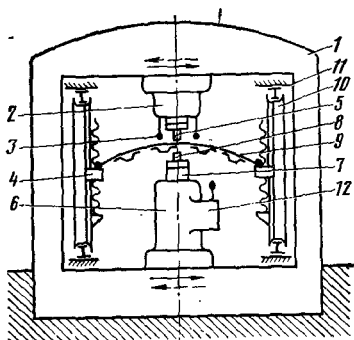


Рис. 13.5. Прессы для клепки узлов и панелей

Рис. 13.6. Схема полуавтоматического прессы КП-602 для групповой клепки:

1 — станина; 2 — верхняя клепальная головка; 3 — щупы; 4 — выравнивающее устройство; 5 — верхний штамп; 6 — нижняя клепальная головка; 7 — плунжер; 8 — нижний клепальный штамп; 9 — панель; 10 — тележки; 11 — направляющая; 12 — пульт управления



Управление движением тележки производится оператором с пульта управления 12 или автоматически при помощи специальных копиров.

На прессы типа КП-602 можно клепать панели размерами $15 \times 2,8$ м, а также панели переменной толщины заклепками одного диаметра, не перенастраивая при этом пресс. Склепываемые узлы и панели поступают на эти прессы с просверленными и зенкованными отверстиями и вставленными в них заклепками.

В процессе клепки на прессы автоматически выполняются следующие переходы: выравнивание поверхности панели перпендикулярно оси клепальных головок; подвод верхнего и нижнего штампов к изделию; образование замыкающих головок заклепок и отвод верхнего и нижнего штампов в исходное положение; перемещение изделия на шаг групповой клепки.

После выполнения клепки по одному ряду заклепок оператор, пользуясь пультом управления, перемещает клепальные головки прессы на следующий ряд заклепок, затем ставит панель в исходное положение и включает пресс на автоматический цикл работы.

Прессы типа КП-602 и другие прессы для групповой клепки снабжаются набором сменных инструментов (штампов) для сжатия склепываемого пакета и образования замыкающих головок заклепок.

Клепальные автоматы. Общее оперативное время процесса клепки представляет собой сумму оперативных времен входящих в него операций, т. е.

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{оп. с}} + T_{\text{оп. з}} + T_{\text{оп. в}} + T_{\text{оп. к}} \quad (13.2)$$

где $T_{\text{оп}}$ — полное оперативное время, затрачиваемое на постановку заклепки; $T_{\text{оп. с}}$, $T_{\text{оп. з}}$, $T_{\text{оп. в}}$, $T_{\text{оп. к}}$ — оперативное время соответственно на сверление и зенкование отверстий, вставку заклепок и образование замыкающей головки заклепки, на контроль.

Уменьшать оперативное время клепки $T_{\text{оп}}$ можно путем автоматизации и механизации отдельных операций или комплексно по всем операциям.

При частичной автоматизации, когда из всех операций процесса производительность повышается только по одной (двум), общая производительность процесса клепки изменяется незначительно.

Для более значительного повышения производительности клепальных работ необходима комплексная автоматизация процесса

одновременно по всем входящим в него операциям. Эта задача решается путем создания и внедрения в производство клепальных автоматов.

Цикл работы автомата включает в общем случае следующие элементы:

выравнивание поверхности изделия относительно оси инструментов;

сжатие пакета;

образование отверстия и гнезда под заклепку;

вставку заклепки;

образование замыкающей головки;

фрезерование потайной головки;

отвод инструментов в исходное положение.

Последовательность и продолжительность выполнения элементов цикла программируются применительно к каждому типу автомата с учетом размеров и конфигурации склепываемого изделия. Клепальные автоматы оснащаются клепальными головками. Каждая клепальная головка, в свою очередь, оснащается одним или несколькими бункерами, что позволяет в зависимости от толщины склепываемого пакета производить клепку заклепками различной длины без переналадки автомата.

Конструктивно клепальные автоматы выполняются в различных компоновках в зависимости от исходного полуфабриката (заклепки, стержня) и схемы процесса клепки.

На рис. 13.7 приведен клепальный автомат АК-2,2-05 с блоком питания, имеющий сменный бункер.

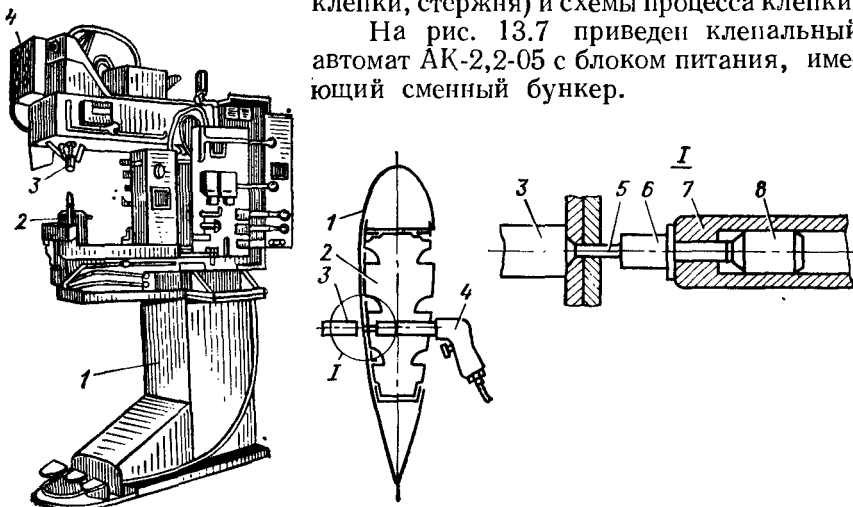


Рис. 13.7. Клепальный автомат АК-2,2-05 и схема процесса:

1 — станция; 2 — нижняя клепальная головка; 3 — верхняя сверлильно-зенковальная и клепальная головки; 4 — пульт управления

Рис. 13.8. Схема образования замыкающей головки заклепки при клепке пневматическим клепальным молотком:

1 — изделие; 2 — перья; 3 — поддержка; 4 — молоток; 5 — заклепка; 6 — обжимка; 7 — цилиндр молотка; 8 — поршень

Он имеет следующие характеристики: усилие клепки $2,2 \cdot 10^4$ Н, усилие сжатия пакета $(0,44 \dots 2,2) \cdot 10^8$ Н, скорость сверления 52,5 ... 628 рад/с, максимально допустимую длину заклепки $1,75 \cdot 10^{-2}$ м.

Особенностью этого процесса является обеспечение высокого усилия сжатия пакета в течение всего цикла образования клепаного соединения. Это исключает появление заусенцев внутри пакета, что существенно улучшает качество и ресурс клепаного соединения. Приведенный технологический процесс позволяет также применять способы клепки, обеспечивающие высокие натяги в соединениях, что также значительно повышает ресурс клепаных швов и их герметичность. Некоторые модели сверлильно-клепальных автоматов оснащают поддерживающими устройствами с ЧПУ, что позволяет производить автоматическую клепку панелей.

Серийно выпускаемые сверлильно-клепальные автоматы позволяют клепать панели заклепками диаметром от 2,6 до 9 мм со скоростью клепки 3 ... 10 заклепок в минуту.

Клепальные молотки. Клепка ударом выполняется с помощью пневматических клепальных молотков. В процессе клепки с использованием клепальных молотков (рис. 13.8) процесс образования замыкающей головки заклепки происходит в следующем порядке. Заклепку вставляют со стороны обшивки, прижимают поддержкой 3 и расклепывают с помощью молотка 4. Один из рабочих держит поддержку, другой — клепальный молоток и управляет работой.

При включении молотка в работу поршень 8 перемещается внутри цилиндра 7 и наносит удары по обжимке 6, осаживая при этом стержень заклепки 5.

Клепальные молотки применяются при клепке непосредственно в сборочных приспособлениях и при стыковке отсеков и агрегатов на участках внестапельной сборки. Однако следует иметь в виду, что клепка пневматическими молотками имеет ряд недостатков. Наиболее существенными из них являются: шум при работе, возникновение болезненных ощущений (вибрационная болезнь). Проводимые мероприятия по улучшению конструкций молотков (применение виброгасящих устройств и глушителей шума) приводят к некоторым улучшениям условий труда клепальщиков, но не устраняют полностью неприятные ощущения при работе.

§ 4. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ КЛЕПКИ НА РЕСУРС КЛЕПАНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Современные тенденции в совершенствовании процессов клепки связаны, в первую очередь, с созданием процессов клепки, обеспечивающих плотное заполнение гнезда и отверстия телом заклепки, и обеспечением гарантированного натяга заклепок в течение всего срока эксплуатации.

При передаче усилия через клапанный шов в материале листа возникают напряжения, которые распределены неравномерно по

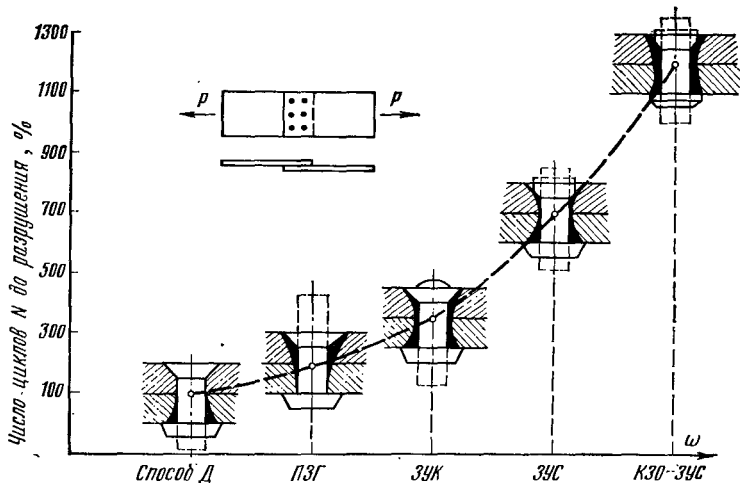


Рис. 13.9. Выносливость потайных клепаных соединений, выполненных различными способами

ширине листа. В зоне отверстия эти напряжения имеют наибольшую величину и являются источником образования трещин и разрушения соединения при работе в условиях переменных нагрузок. Существует несколько технологических методов снижения наибольшего напряжения — концентрации напряжения: упрочнение стенок отверстия в детали, повышение чистоты поверхности при образовании отверстия, снятие и упрочнение фасок на кромках отверстия. Наиболее эффективным методом является упрочнение материала — стенок отверстия.

При выполнении клепаных соединений упрочнение отверстий производят за счет деформации листа — увеличения диаметра отверстия стержнем заклепки.

В процессе образования замыкающей головки заклепки стержень увеличивается в диаметре и увеличивает диаметр отверстия, т. е. упрочняет материал детали в зоне отверстия под заклепку.

В практике самолетостроения применяется несколько способов клепки, имеющих различную степень упрочнения и соответствующую ей выносливость соединений.

На рис. 13.9 приведен график, показывающий характер упрочнения при различных способах клепки.

При постановке обычных потайных заклепок способом Д упрочняется в основном лист со стороны замыкающей головки; выносливость при этом способе клепки условно принята за 100 %.

Способ ПЗГ (потайная замыкающая головка) приводит к упрочнению зенкованного листа и дает некоторое повышение выносливости при разрушении соединения при вибрационных нагрузках по зенкованному листу. Заклепки с компенсатором (ЗУК) и стерж-

невые (ЗУС) обеспечивают более равномерное упрочнение соединяемых деталей и приводят к значительному повышению выносливости. Наибольшее и практически равномерное упрочнение по толщине деталей возможно получить при клепке КЗО-ЗУС. При этом способе клепки образование головок заклепок происходит в замкнутом объеме.

В целях предотвращения возникновения заусенцев и образования наплывов по кромкам отверстий при клепке повышенным давлением (КЗО, ПЗГ и др.) следует предусмотреть предварительное сжатие пакета усилием, соизмеримым с необходимым усилием для образования замыкающей головки. Оборудование для клепки в этом случае оснащается специальными прижимами, а обжимки для образования замыкающих головок профилируются в соответствии с типом заклепок.

Особенностью напряженно-деформированного состояния клепаных соединений КМ является возрастание концентрации напряжений около отверстий при действии технологических начальных напряжений и, как следствие, снижение прочности и долговечности соединений.

Поэтому в отличие от клепаных соединений металлических конструкций основным направлением повышения качества клепаных соединений КМ является создание и разработка технологии малодеформационной клепки. В основе малодеформационных процессов клепки КМ лежит использование специальных заклепок переменной жесткости, ограничивающих элементов, а также способов клепки, обеспечивающих локализацию пластических деформаций в области замыкающей головки заклепки. Такими способами являются клепка давлением с раскаткой, клепка с наложением ультразвуковых колебаний, клепка с нагревом.

Реализация технологии малодеформационной клепки позволяет существенно повысить ресурс клепаных соединений КМ. При использовании прессовой или ручной ударной клепки целесообразно использовать заклепки переменной жесткости с шайбами под замыкающими головками. При клепке конструкций с двухсторонним потайным швом целесообразно использовать заклепки переменной жесткости. Для сравнительно тонких пакетов, имеющих двухсторонний потайной шов, следует применять специальные переходные втулки и сплошные заклепки из высокопрочных сплавов.

§ 5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЗАКЛЕПКИ

Кроме описанных ранее типов заклепок в самолетостроении применяют и специальные — заклепки с высоким сопротивлением срезу и заклепки для односторонней клепки.

Технология клепки такими заклепками и применяемый на некоторых операциях и переходах инструмент несколько отличаются от рассмотренных ранее.

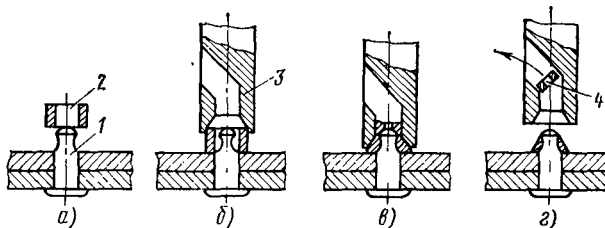


Рис. 13.10. Схема технологического процесса постановки заклепок с высоким сопротивлением срезу:

а — установка заклепки в отверстие; *б* — надевание кольца; *в* — обжатие кольца; *г* — заклепка после обжатия кольца; *1* — стержень заклепки; *2* — кольцо; *3* — обжимка; *4* — отход (излишний материал)

Заклепки с высоким сопротивлением срезу применяются в заклепочных соединениях, воспринимающих большие срезающие усилия. В таких соединениях прочность на срез заклепок из легких сплавов недостаточная, а при использовании обычных стальных заклепок их необходимо перед постановкой в отверстие нагреть, что значительно усложняет выполнение работ.

Заклепка с высоким сопротивлением срезу состоит из двух частей: стержня *1* из стали 30ХГСА и кольца *2* из алюминиевого сплава Д18 (рис. 13.10). Один конец стержня заклепки высажен в закладную потайную или плоскую головку, другой имеет специальную кольцевую выточку. Стержень заклепки термически обработан до $\sigma = 1250$ МПа и отшлифован.

Технологический процесс образования соединения заклепками этого типа включает следующие основные операции: сверление, зенкование, развертывание или протягивание отверстий, постановку заклепок в отверстия, установку колец и образование замыкающих головок заклепок. Все эти операции выполняются на обычном клепальном оборудовании, причем из всех применяемых при клепке инструментов специфической является лишь обжимка *3*. Эта обжимка имеет отверстие для выхода излишнего материала после осадки кольца на стержень заклепки.

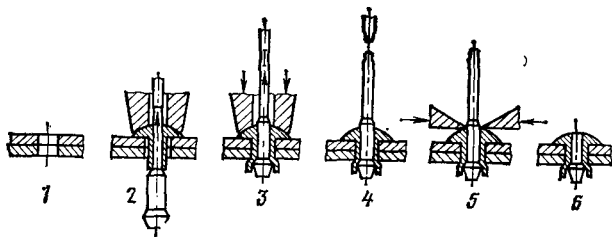


Рис. 13.11. Схема технологического процесса постановки заклепок с сердечником:

1 — сверление отверстия; *2* — вставка заклепки в отверстие; *3* — образование замыкающей головки; *4* — обрыв сердечника; *5* — удаление выступающей части сердечника; *6* — готовое изделие

Заклепки с высоким сопротивлением срезу клепают на прессах одиночной клепки или пневмомолотком.

Заклепки для односторонней клепки применяются в местах, где нет доступа к замыкающей головке заклепки. В таких случаях применяются заклепки с сердечником (рис. 13.11) или гайкопистоны. Отверстия и гнезда для головок таких заклепок выполняются обычным инструментом.

§ 6. СПОСОБЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КЛЕПАНЫХ ШВОВ И ИЗДЕЛИЙ

В пассажирских и грузовых самолетах и вертолетах герметизируются кабины, приборные и грузовые отсеки. Назначение герметизации — поддержание избыточного давления в кабинах, предотвращение утечки топлива из кесон-баков, защита различных отсеков и агрегатов от проникновения в них агрессивных жидкостей и газов и попадания воды во время дождя.

Утечки воздуха, газов или жидкостей в швах в основном происходят через зазоры между контактными поверхностями листов, между элементами заклепок (стержень, головка) и стенками отверстия в деталях. Уменьшить или полностью устранить утечки можно путем нанесения герметизирующих материалов в зоны утечки и применением плотной посадки заклепки в отверстие. Постановка вместо обычных заклепок заклепок с компенсатором и стержневых приводит к значительному повышению герметичности шва. Наибольший эффект в части герметизации швов достигается сочетанием плотной посадки заклепок с последующим нанесением герметизирующих материалов — специальных герметиков.

Герметизирующие материалы имеют адгезию к соединяемым деталям и могут применяться в виде пленок, паст и жидкостей, допускают взаимное перемещение соединяемых деталей без нарушения герметизации. К герметикам предъявляются следующие требования: а) они должны обладать пластичностью, т. е. сохранять герметизирующие свойства при перепадах давлений рабочего тела, деформациях шва, воздействии высокой и низкой температур; б) должны иметь сцепление не менее 0,98 МПа с поверхностями деталей, которое не должно нарушаться при воздействии статических и переменных нагрузок, различных температур, атмосферных явлений и воздуха; газов или топлива; в) не должны оказывать вредного воздействия на людей и вызывать коррозионные процессы в зоне герметизации.

В самолето- и вертолетостроении применяется большое количество разнообразных марок герметиков.

Герметики ВГФ-1 и У-2-28 работают при температуре от -60 (70) до $+250$ (300) °С на самолетах со скоростью $M = 2 \dots 3$, а герметики У-30М, УТ-32, У-30мс-5, ВТУР — от -50 до $+130$ °С на самолетах и вертолетах со скоростями полета до 277,8 м/с.

Герметик может быть в виде пастообразной массы, раствора, пасты, жидкости, ленты или ткани, пропитанной герметиком.

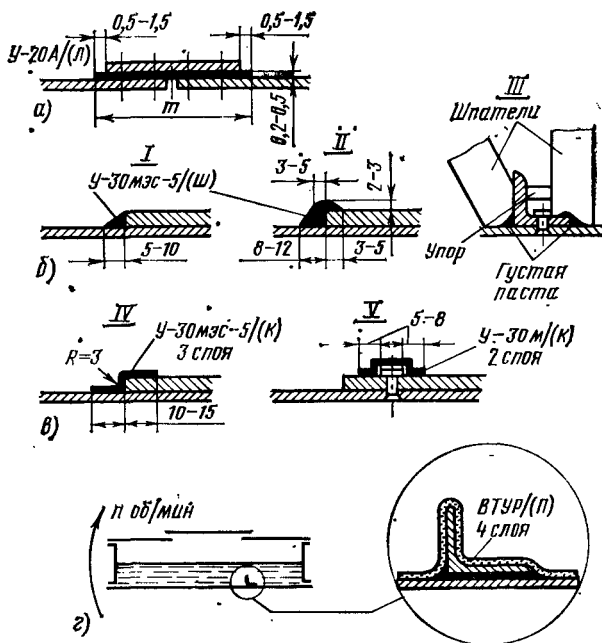


Рис. 13.12. Зона герметизации швов и способы нанесения герметика:

а — укладка ленты; б — нанесение пасты шпателем; в — нанесение герметика кистью; з — нанесение герметика поливом; I — обычный жгут; II — жгут с напыльвом; III — форма шпателей для нанесения жгутов; IV — местная герметизация стыка; V — местная герметизация заклепки (болта)

Состояние герметика зависит от количества входящих в него компонентов и определяет способ его нанесения и вид применяемого при этом инструмента и оборудования.

Ленты из герметизирующего материала или ткани, пропитанной герметиком, нарезают по ширине шва t с припуском $1,5 \cdot 10^{-3}$ м на сторону. Ленты в зону шва укладывают вручную, условный индекс способа нанесения обозначен буквой (Л). На чертеже герметичного шва указывают марку герметика, толщину ленты и способ нанесения, например, если взят герметик У-20А в виде ленты, то обозначено У-20А (Л) (см. рис. 13.12, а).

Герметики в виде пасты наносят шпателем или шприцем, которым присвоен индекс (Ш). Рекомендуемые размеры жгутов из пасты и система обозначения их на чертеже приведены на рис. 13.12, б. Наносимые кистью герметики разводят до состояния вязкотекучей жидкости, им присвоен индекс (К). На чертеже герметичного шва указывают марку герметика, зону герметизации, индекс (К) и количество слоев герметика, наносимого кистью (см. рис. 13.12, в).

Для нанесения герметика поливом, пульверизатором или окупанием его разводят до состояния подвижной жидкости,

имеющий вязкость $(7 \dots 10) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ при температуре 15°C . Этому процессу присвоен индекс (П) (см. рис. 13.12, з). После нанесения каждого слоя герметика кистью, пульверизатором или поливом дают выдержку для вулканизации — отверждения герметика. Важным свойством герметика является его жизнеспособность, т. е. время, в течение которого герметик наносится на поверхности деталей, сохраняя свои адгезионные свойства — способность прилипать к поверхности деталей. По истечении определенного срока герметик теряет свои свойства и в дальнейшем не может быть использован.

Учитывая жизнеспособность герметиков, приготавливают его непосредственно в цехе герметизации перед выдачей на рабочие места.

Герметизация клепаного шва осуществляется одним из следующих способов:

внутришовной герметизацией, при которой герметики прокладываются между соединенными деталями (см. рис. 13.12, а);

поверхностной герметизацией, когда герметик наносится на внутренние (не обтекаемые воздушным потоком) поверхности соединяемых деталей (см. рис. 13.12, б, в);

смешанной герметизацией, включающей внутришовную, поверхностную и герметизацию поливом (см. рис. 13.12, з).

При внутришовной герметизации операции по сборке, клепке и герметизации чередуются между собой, что в значительной степени усложняет и удлиняет процесс сборки изделия. При поверхностной герметизации изделие (панель отсека) сначала полностью собирают, клепают, контролируют, а затем герметизируют. Этот процесс имеет меньшую трудоемкость и цикл сборки. Смешанный способ герметизации является наиболее трудоемким и дорогим и применяется главным образом при изготовлении емкостей для топлива, к которым предъявляются повышенные требования по герметизации.

Процесс герметизации протекает в следующей последовательности:

- а) внутришовная герметизация по схеме рис. 13.12, а;
- б) поверхностная герметизация по схеме рис. 13.12, б;
- в) герметизация поливом по схеме рис. 13.12, з.

При таком методе нанесение всех слоев герметика занимает 180 ч, а суммарная выдержка на воздухе в процессе герметизации (сушка отдельных слоев) — 230 ч, таким образом общий цикл работ по герметизации кессона-бака крыла длится 410 ч.

Сократить трудоемкость герметизации и время выдержки можно механизацией работ и принудительной сушкой слоев герметика путем нагрева (горячим воздухом, электроприборами и т. д.).

Рассмотрим кратко способы выполнения наиболее характерных операций герметизации клепаных соединений.

1. Обезжиривание поверхностей промывкой или пропиткой их бензином Б-70 или специальными смывками.

2. Нанесение герметиков на поверхность различными способами, а именно:

а) жидкие герметики наносятся кистью, пульверизатором или просто наливаются на поверхности. В последнем случае применяются специальные приспособления. Например, при поверхностной герметизации топливного отсека крыла изнутри на него наливают небольшое количество жидкого герметика, после чего отсек устанавливают в специальное приспособление, в котором он вращается со скоростью $0,052 \dots 0,105$ рад/с. При вращении герметик разливается тонким слоем по внутренней поверхности отсека. Оставшийся герметик сливается из отсека, а образовавшаяся на его внутренних поверхностях пленка герметика просушивается. При нанесении жидкого герметика в несколько слоев отдельно просушивается каждый слой. Пленка герметика сушится инфракрасными электролампами, горячим воздухом или сухим паром.

3. Термическая обработка некоторых герметиков (например, ТГ-18) при повышенной температуре. Для этого герметизируемые изделия помещают в специальные нагревательные камеры или установки, в которые подается горячий воздух.

4. Сборка и клепка герметизируемых изделий производится на том же оборудовании с применением тех же инструментов и приспособлений, что и негерметизированных.

5. Контроль качества герметизации заклепочных соединений (поперационный в процессе клепки и общий по готовому изделию) осуществляется следующими методами:

- а) созданием вакуума на испытываемом участке шва;
- б) нагнетанием в контролируемое изделие сжатого воздуха в смеси с другими газами (например, аммиаком, фреоном и т. д.);
- в) нагнетанием сжатого воздуха внутрь изделия;
- г) заливкой топлива (керосина) при испытании на герметичность топливных отсеков.

Степень герметизации отдельных участков заклепочного шва герметической кабины контролируют методом вакуума и избыточным давлением. При создании вакуума под прозрачным колпаком по вздутию мыльных пузырей определяют место утечки воздуха.

Контроль степени герметизации кабины сжатым воздухом заключается в определении времени, в течение которого давление в кабине в результате утечки из нее воздуха падает от p_H начального до $p_{\text{кон}}$ конечного.

Допустимый перепад давлений в кабине за определенный промежуток времени при ее испытании $\Delta p = p_H - p_{\text{кон}}$ зависит от назначения кабины и условий ее эксплуатации. Так, для герметических кабин самолетов перепад давлений $\Delta p = 0,04 \dots 0,07$ МПа при $p_H = 0,15 \dots 0,18$ МПа и $p_{\text{кон}} = 0,11$ МПа, время снижения давления от p_H до $p_{\text{кон}}$ равно 1 ч.

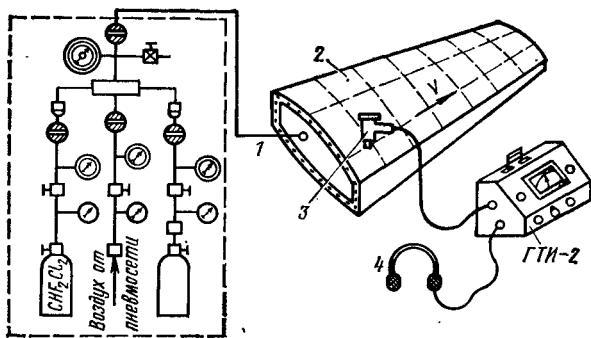


Рис. 13.13. Схема контроля герметичности галоидным методом с применением течеискателя ГТИ-2:

1 — подвод смеси азота с фреоном; 2 — контролируемый отсек крыла; 3 — щуп течеискателя ГТИ-2; 4 — телефон; v — скорость перемещения щупа течеискателя ($\sim 0,33 \times 10^{-3}$ м/с)

Испытание кабины методом давления позволяет определить общую степень ее герметизации, но не дает возможности установить места утечки воздуха. Для определения мест утечки воздуха пользуются методом вакуума или нагнетания сжатого воздуха, смешанного с аммиаком, в количестве 1 % объема кабины. В последнем случае на испытываемые швы накладывают бумагу, пропитанную 50 %-ным раствором азотнокислой ртути, которая в местах утечки из кабины смеси воздуха и аммиака покрывается темными пятнами.

Топливные отсеки чаще всего испытывают на герметичность заливкой в них керосина. Перед испытанием заклепочные швы топливного отсека снаружи покрывают раствором мела в воде и затем его просушивают. В испытываемом топливном отсеке керосин находится под давлением p_n , величина которого обусловлена техническими условиями. При испытании на меловой окраске топливного отсека в местах утечки образуются темные пятна.

Для контроля герметичности применяют различного вида течеискатели. Это позволяет более объективно оценить качество изделий и способствует механизации и автоматизации процесса контроля. На рис. 13.13 приведена схема контроля герметичности с применением галоидного течеискателя типа ГТИ-3.

Проверяемое на герметичность изделие заполняют смесью фреона с воздухом под избыточным давлением. Клепачные швы проверяют щупом, а по шкале прибора наблюдают за утечкой. Галоидный метод контроля герметичности обладает высокой чувствительностью.

В случае обнаружения утечек производят дополнительную герметизацию, устанавливая заклепки большего диаметра или нанося дополнительный слой герметика.

§ 7. СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Требуемые размеры и допустимые отклонения параметров, характеризующих заклепочный шов, устанавливаются в технических условиях, которые учитывают назначение самолета или вертолета.

В процессе изготовления клепаных агрегатов контролируют качество внутренних поверхностей и размеры отверстий, форму и размеры гнезд для заклепок, форму и размеры закладных и замыкающих головок, а также плотность прилегания соединяемых деталей в готовом шве, герметичность соединения.

В зависимости от объекта сборки и месторасположения на нем заклепочных швов контролировать их качество можно пооперационно (по каждой операции), по готовому шву и на готовом изделии.

На ответственных узлах и панелях качество некоторых заклепочных швов не подвергается пооперационному контролю, а контролируется при приемке детали или узла в целом.

Наиболее распространенным методом контроля заклепочного шва являются внешний — визуальный осмотр и определение размеров основных параметров шва универсальным и специальным инструментом.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству клепаных соединений КМ, и учитывая специфику свойств КМ, необходимо производить контроль на выявление следующих дефектов:

выкрашивание связующего и скалывание верхних слоев КМ при образовании отверстий и гнезд;

врезание закладных и замыкающих головок в КМ;

выпучивание обшивки в зоне замыкающих головок;

наличие трещин и расслоений в КМ.

Остальные параметры проверяются в соответствии с требованиями, методами контроля, используемыми для клепаных металлических конструкций.

Основными мероприятиями по повышению качества заклепочных соединений являются дальнейшая механизация и автоматизация процессов клепки, создание и внедрение в производство приспособлений, обеспечивающих заданную геометрию шва, повышение квалификации работающих.

§ 8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Основными причинами, вызывающими профессиональные заболевания и несчастные случаи, являются:

вибрационные колебания пневматических клепальных молотков и поддержек;

значительный шум пневматических дрелей и молотков;

недостаточно жесткое крепление собираемых изделий и инструмента;

нарушение согласованности в работе клепальщика и подручного.

Для улучшения условий труда и устранения причин возникновения несчастных случаев ведутся большие работы в направлении дальнейшей механизации клепально-сборочных работ, т. е. замены ручных пневматических дрелей и молотков сверлильными станками и прессами, и совершенствования пневматических инструментов (дрелей и молотков). В промышленности начали применяться пневмодрели с глушителями, снижающими шум, вызываемый этими инструментами.

Особое внимание уделяется снижению вредных последствий, вызываемых клепкой пневматическими молотками. В промышленности начали применяться клепальные молотки и поддержки с виброгасящими устройствами. Кроме того, молотки и поддержки имеют покрытие для предохранения рук работающего от резких вибраций и переохлаждения.

Одной из особенностей образования отверстий в КМ является наличие пылевидной, токсичной и вредной стружки, требующей использования специальных защитных устройств и эффективного удаления ее из зоны обработки. Поэтому операции сверления и зенкования необходимо осуществлять в специально подготовленном помещении, на специальном оборудовании, удовлетворяющем требованиям техники безопасности и оснащенном пыле-сборочными приемниками.

§ 9. ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ СБОРКИ УЗЛОВ И ПАНЕЛЕЙ КЛЕПАНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Клепанные соединения широко используются при сборке узлов и панелей, изготовляемых из листов и профилей алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. Сборка узлов и панелей клепаной конструкции производится обычно в приспособлениях с базированием деталей по их поверхностям или по сборочным отверстиям.

Рассмотрим в качестве примера процесс сборки лонжерона, рис. 13.14.

Лонжерон состоит из стенки 1, стыковочного узла 2, поясов 3 и 4, профилей жесткости 5. Все детали лонжерона выполнены из материала Д16Т и соединены заклепками ЗН. Требуемая точность по контуру обвода $0,5 \cdot 10^{-3}$ м на сторону.

В качестве баз приняты:

поверхность каркаса ПК при образовании обводов;

УБО и поверхность ложементов 14 (ЛЖ) для установки и закрепления стенки в приспособлении;

ОСБ и торцевая поверхность плиты стыка 6 (ПС-Н) при установке стыкового узла 2;

Схема базирования

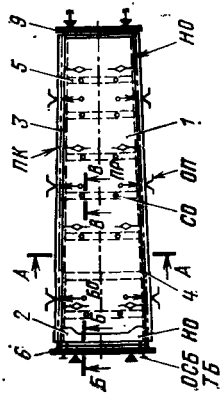
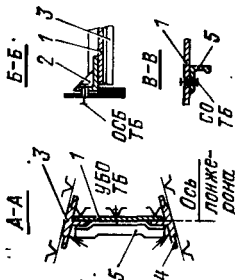
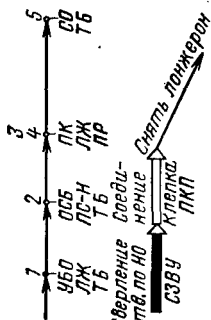


Схема сборки



Приспособление и его оснащение

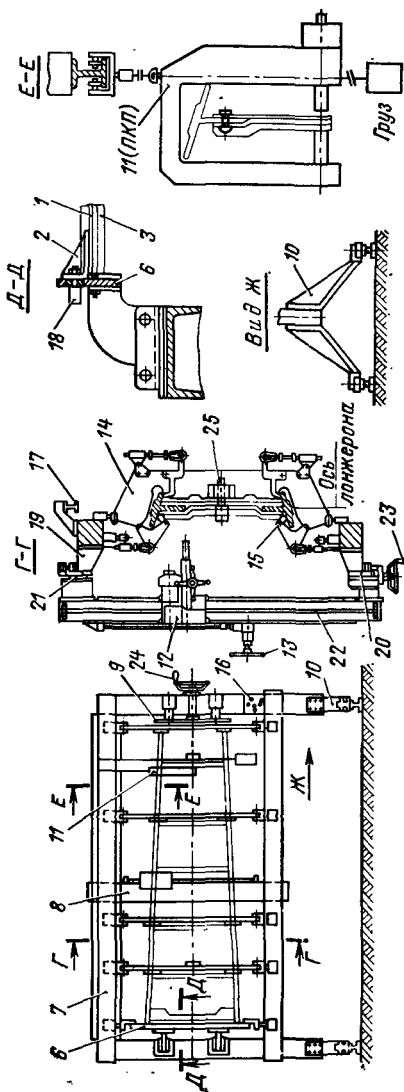


Рис. 13.14. Схема базирования, схема сборки и сборное приспособление для сборки лонжерона

поверхность каркаса. ПК — обводообразующие поверхности поясов 3 и 4 при установке их на базовые поверхности ложементов 14 (ЛЖ);

СО в стенке 1 и стойках 5 при установке последних по дистанциям первюр.

Условия поставки деталей на сборку. Стенка 1 подается с обрезанными кромками и торцами. В ней просверлены два отверстия УБО по хорде и СО по стойкам 5.

Стыковой узел 2 подается на сборку полностью собранным с отверстиями под ОСБ, выполненными на $2 \cdot 10^{-3}$ м меньше диаметра болта для последующей разделки отверстий под стыковые болты крыла в разделочном стенде.

В стыковом узле также просверлены НО под заклепки, соединяющие узел со стойкой и поясами.

Пояса 3 и 4 подаются на сборку с обрезанными торцами по НО. Стойки 5 имеют СО и НО.

Схема последовательности операций сборки лонжерона

Сборку начинают с установки стенки лонжерона 1 по УБО на штифты 25. Затем устанавливают стыковой узел 2, опирая его на поверхность плиты 6 приспособления, и закрепляют на ней технологическими болтами 18, вставленными в отверстия ОСБ. Далее устанавливают пояса 3 и 4, опирая их на рабочие поверхности ложементов 14. В продольном направлении пояса фиксируют по плите 6, поджимая их к ней плито-фиксатором 9. В таком положении пояса и стенка закрепляются в ложементах пневматическими прижимами 15. Стойки 5 закрепляют на стенке 1 по СО с помощью технологических болтов ТБ.

Сверление всех отверстий по НО производят с помощью сверлильной установки типа СЗВУ, а клепку заклепок с помощью подвесного пневморычажного прессы ПКП. По окончании сборки лонжерон снимают с приспособления и передают на следующий этап сборки.

Глава 14

СБОРКА УЗЛОВ И ПАНЕЛЕЙ СВАРНОЙ И ПАЯНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Среди технологических процессов, широко применяемых в авиационном производстве, видное место занимают сварка и пайка.

Сварка и пайка позволяют создавать принципиально новые, высокоэкономичные конструкции, наиболее рациональные по форме и размерам. По характеристикам сварные конструкции

мало отличаются от монолитных, однако они обладают наиболее высокой весовой отдачей и максимальным коэффициентом использования материала. К числу важных преимуществ сварных конструкций следует отнести также высокую прочность и герметичность соединений, высокую производительность, широкую возможность механизации и автоматизации.

В конструкциях самолетов и вертолетов сваркой соединяют детали с толщиной стенок 0,3 ... 35 мм. Сварными изготавливаются шасси, баки, каркасы фонарей, баллоны различного назначения, панели фюзеляжа, крыла, оперения, створки люков и т. д.

При проектировании конструкций необходимо учитывать влияние сварки на исходные свойства основного материала. Механические свойства материала при сварке, как правило, снижаются. В сварных конструкциях возникают остаточные напряжения и деформации, которые могут сказываться на точности изготовляемого изделия. Из-за неоднородности свойств основного металла и металла шва создаются концентраторы напряжений.

Каждый из способов сварки может выполняться вручную или автоматически. Они значительно отличаются по технологическому процессу и требуют специфического оборудования и приспособлений. Их особенности важно знать конструктору для учета требований к сварной конструкции.

§ 1. ПРОЦЕССЫ СБОРКИ ПРИ ПОМОЩИ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

Наиболее широкое применение как в самолетостроении, так и в большинстве отраслей техники, находит электрическая дуговая сварка. Объясняется это простотой сварочного оборудования и широкой возможностью механизации и автоматизации процесса.

Дуговая сварка. Дуговая электросварка ведется двумя способами: неплавящимся электродом и плавящимся металлическим электродом.

Технологический процесс сборки-сварки состоит из следующих основных операций:

вспомогательные операции (подготовка деталей к сварке, правка их после сварки, удаление флюса с поверхности швов);
сборочные операции (установка деталей в сборочное положение и закрепление их);

сварочные операции (прихватка и сварка);

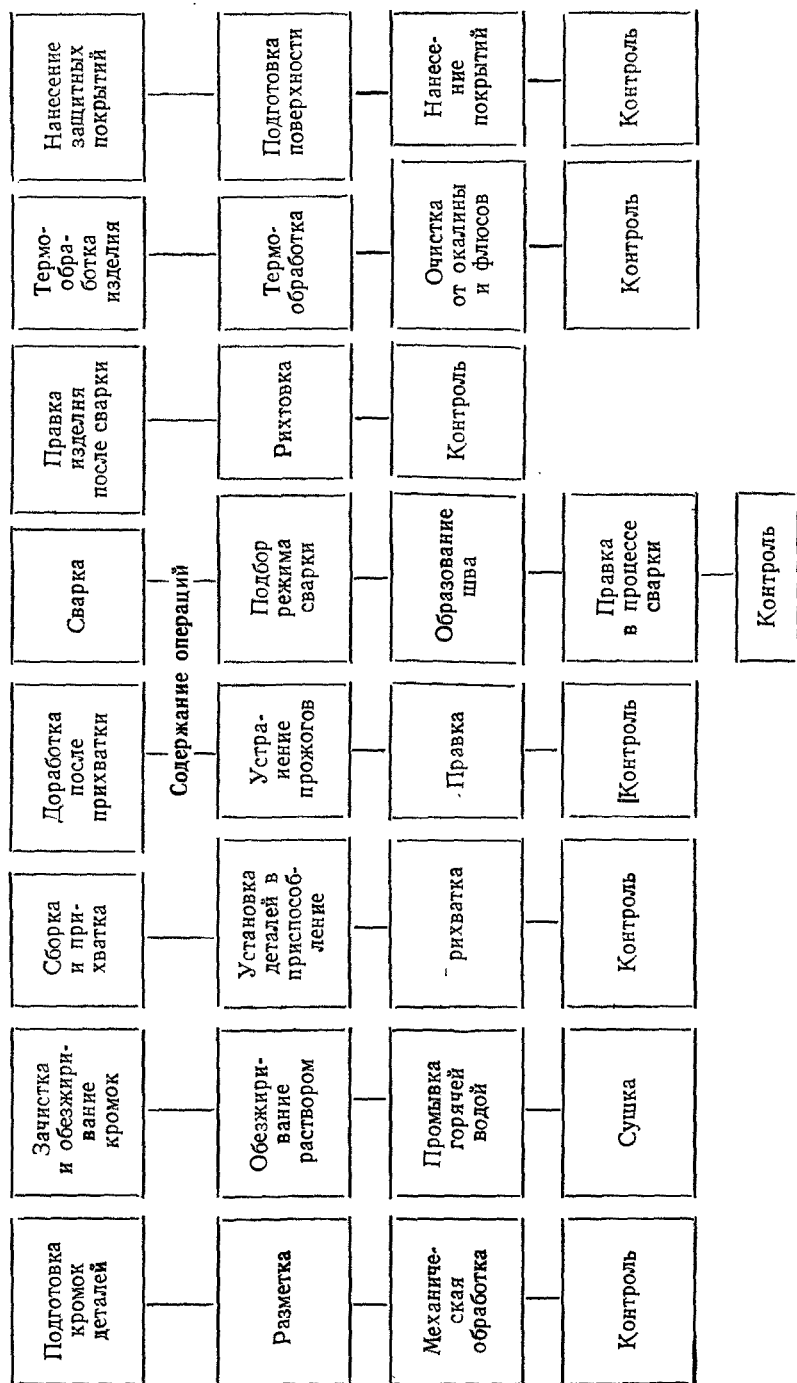
контрольные операции (контроль подготовки кромок, качества прихватки и сварки).

Рассмотрим содержание этих операций, последовательность выполнения которых приведена в табл. 14.1.

Подготовка кромок свариваемых деталей является первой и весьма ответственной операцией технологического процесса. Определяющими факторами здесь являются вид шва, толщина и марка материала, особенности конструкции, намечаемый способ сварки и степень его механизации.

Таблица 14.1

Название операций



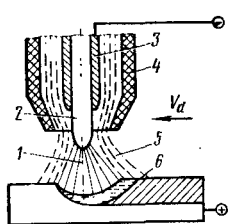


Рис. 14.1. Схема сварки в атмосфере защитных газов:
 1 — зона дуги; 2 — электрод; 3 — токопровод; 4 — сопло;
 5 — защитный газ; 6 — сварочная ванна

В рабочих чертежах деталей сборочных узлов указываются все необходимые размеры для обработки кромок под сварку. Наиболее высокую точность кромок обеспечивает механическая обработка.

Очистка поверхности деталей, прилегающих к кромкам на ширине 50 ... 60 мм, от ржавчины, масла, лакокрасочных покрытий и других осуществляется обдувкой песком, обработкой наждачными кругами, металлическими щетками или химической обработкой.

Сборка изделия и прихватка входящих в него деталей производится в специальных приспособлениях. При этом допускается смещение свариваемых кромок относительно друг друга не более 0,5 мм — для толщины не более 4 мм; 1,0 мм — для толщины не более 10 мм, 0,1S (но не более) — для толщины не менее 10 мм, где S — толщина деталей.

Сварка осуществляется в свободном состоянии или в приспособлении. Автоматическая и механизированная сварка производится только в приспособлении.

Преимущества ручной сварки — простота приспособлений и инструмента, возможность выполнения сварки в разнообразных условиях, в частности вне помещений. К недостаткам ручной сварки следует отнести низкую производительность, невысокую стабильность качества шва, частые прожоги, особенно тонколистовых материалов из-за трудности регулирования длины дуги.

Дуговая сварка в защитных газах нашла широкое применение в промышленности. Этим способом можно вести сварку ручную, полуавтоматическую и автоматическую. Схема сварки в атмосфере защитных газов показана на рис. 14.1. Зона дуги 1, электрод 2 и сварочная ванна 6 защищаются струей защитного газа 5. Газ подают с помощью сварочной горелки через сопло 4, в центре которого помещается электрод. Сопло охлаждается водой и изолировано от других частей горелки и токопровода 3.

Аргоно-дуговая сварка находит наибольшее распространение в авиационном производстве. Ее можно осуществлять вручную и автоматически как неплавящимся, так и плавящимся электродами.

Сварку неплавящимся (вольфрамовым) электродом применяют, как правило, при соединении металла толщиной 0,1 ... 4 мм. Сварку можно выполнять как с присадкой, так и без присадки. В последнем случае шов образуется за счет расплавления кромок свариваемого металла.

Сварку плавящимся электродом применяют для соединения металла толщиной от 2 мм и более. Проволока подается в зону

дуги с помощью механизма со скоростью, равной средней скорости ее плавления. Расплавленный металл электродной проволоки переходит в сварочную ванну и таким образом участвует в формировании шва.

Сварочное оборудование для автоматической сварки выбирается в зависимости от габаритных размеров изделия, вида сварки и параметров режима.

Сборочно-сварочная оснастка подразделяется на стандартизованную, универсально-сборную и специальную.

На рис. 14.2 приведены примеры типовых компоновок для автоматической сварки продольных и кольцевых швов.

Для автоматической аргоно-дуговой сварки как плавящимся, так и неплавящимся электродами разработано большое количество различных автоматов, которые используются в типовых компоновках.

На рис. 14.3 приведены некоторые схемы вспомогательного оборудования, используемого в типовых компоновках. Сварочные позиционеры используются для закрепления и поворота заготовок в удобное для сварки пространственное положение (рис. 14.3, а). Сварочные вращатели предназначены для вращения изделия вокруг постоянной оси со скоростью сварки. Вращение изделия может осуществляться и приводными роликами (рис. 14.3, б). Более сложными приспособлениями являются сварочные манипуляторы — устройства карусельного типа, предназначенные для вращения изделия при сборке и сварке с различными углами наклона оси вращения (рис. 14.3, в).

Сварка под флюсом. Автоматическая сварка под флюсом является высокопроизводительным процессом, обеспечивающим высокие механические качества сварных соединений.

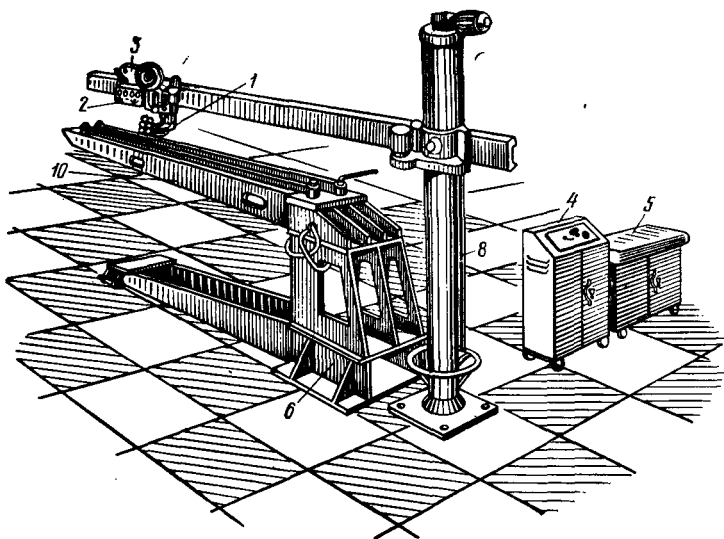
Дуга горит под слоем сварочного флюса γ (рис. 14.4). По мере поступательного движения электрода совместно с бункером для шлака происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн. Электродную проволоку подают в дугу и перемещают ее вдоль шва с помощью механизма подачи и перемещения. Металл шва получается с меньшим количеством пор, с чистой «серебристой» поверхностью, с высокими механическими характеристиками.

По сравнению с ручной дуговой сваркой производительность процесса повышается в 15 ... 20 раз, а также уменьшается себестоимость 1 м сварного шва.

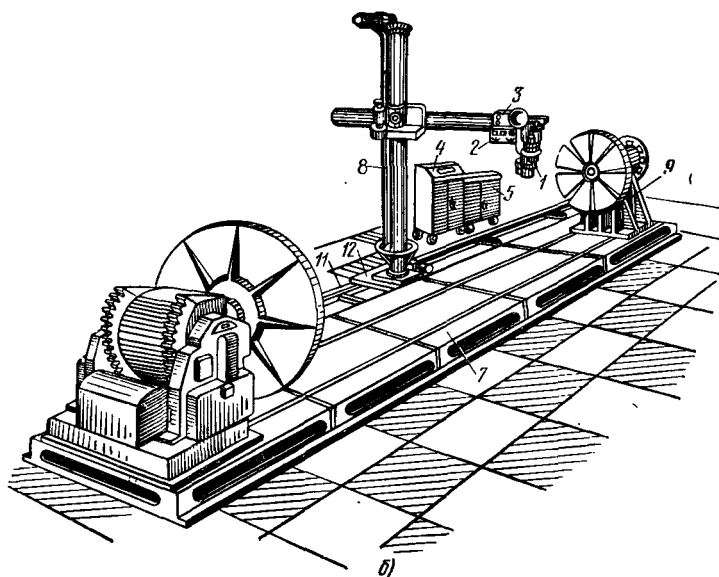
На рис. 14.5 приведено сварочное приспособление для сварки стойки шасси.

Автоматическую сварку целесообразно применять в серийном и массовом производствах для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов при сварке углеродистых и легированных сталей, меди, алюминия, титана и их сплавов.

Для сварки швов более сложной конфигурации и меньшей длины применяют полуавтоматы, у которых сварочную головку



a)



b)

Рис. 14.2. Типовые компоновки для сварки:

a — продольных швов; *б* — кольцевых швов; 1 — головка сварочная; 2 — пульт управления; 3 — каретка; 4 — шкаф с электроаппаратурой; 5 — источник питания; 6 — стэнд; 7 — станина; 8 — стойка с консолью; 9 — бабка поддерживающая; 10 — манипулятор сварочный; 11 — пульт рельсовый; 12 — тележка

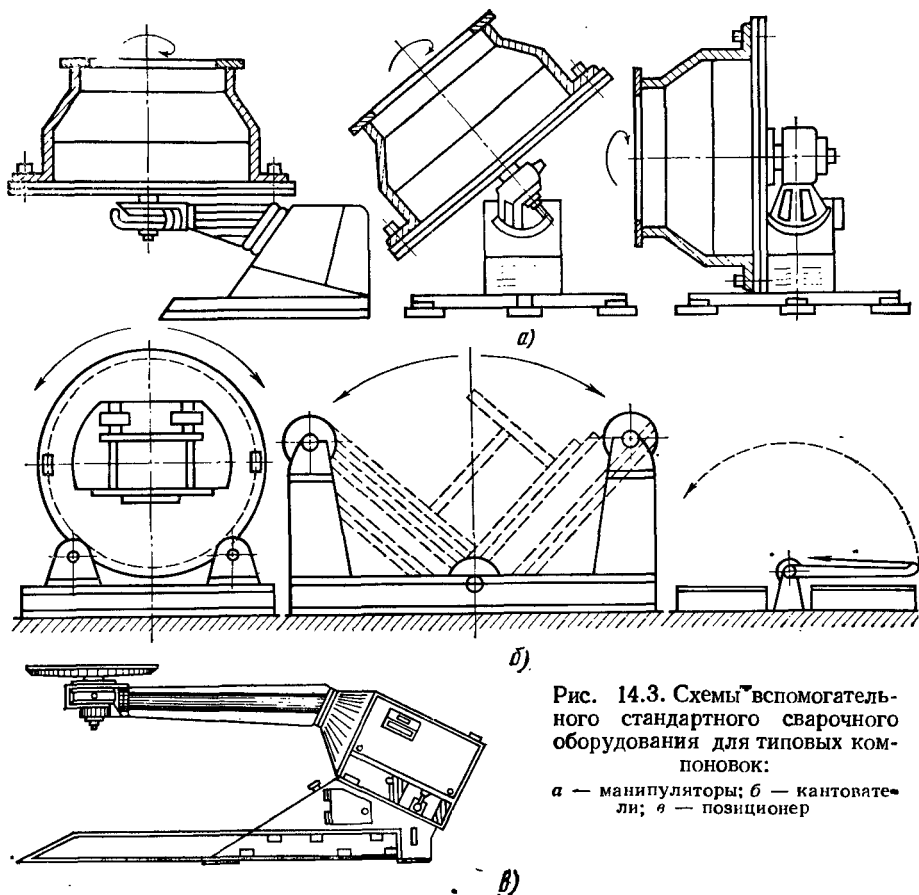


Рис. 14.3. Схемы вспомогательного стандартного сварочного оборудования для типовых компоновок:

а — манипуляторы; б — кантователи; в — позиционер

перемещают вручную, а остальные операции выполняются автоматически.

Недостатками сварки под флюсом являются: невозможность наблюдения за горением дуги, сложность обеспечения сварки вертикальных и наклонных швов, необходимость тщательной очистки от окислов во избежание развития коррозии.

Газовая сварка. Под газовой обычно понимают кислородно-ацетиленовую сварку. Сварка производится с помощью сварочной горелки, к которой подводится кислород и ацетилен (рис. 14.6).

Газовую сварку применяют при изготовлении изделий из легких сплавов и конструкционных сталей.

Преимуществами этого вида сварки являются простота оборудования и инструмента, возможность сварки деталей различной толщины, выполнение сварочных работ в различных внешних условиях и независимость от источника энергии.

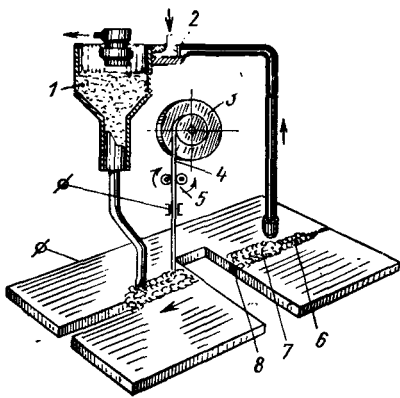


Рис. 14.4. Автоматическая дуговая сварка под флюсом:

1 — бунер; 2 — флюсоотсасывающее устройство; 3 — кассета; 4 — электродная головка; 5 — механизм подачи сварочной проволоки; 6 — шлаковая корка; 7 — флюс; 8 — сварной шов

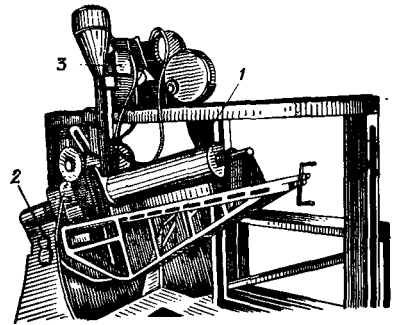


Рис. 14.5. Сварочное приспособление для сварки под флюсом стоек шасси:

1 — стойка шасси; 2 — привод, вращающий стойку шасси; 3 — сварочная головка

К недостаткам газовой сварки следует отнести низкую производительность, повышенную зону термического воздействия и неизбежные при этом более значительные деформации и трещины в зоне шва, необходимость высокой квалификации сварщика.

Плазменная сварка. Источником тепла при сварке служит плазменная струя (ионизированный газ), получаемая в устройствах, называемых плазменными горелками или плазмотронами (рис. 14.7).

Плазменная дуговая сварка находит применение при изготовлении изделий из коррозионно-стойкой стали, титана, никелевых сплавов, молибдена, вольфрама и многих других металлов и

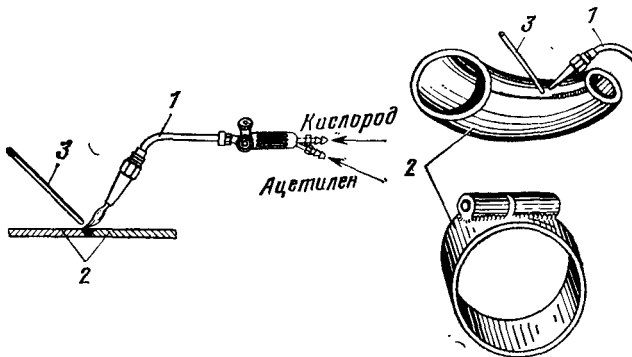


Рис. 14.6. Схема кислородно-ацетиленовой сварки:

1 — горелка; 2 — свариваемые детали; 3 — присадочный металл

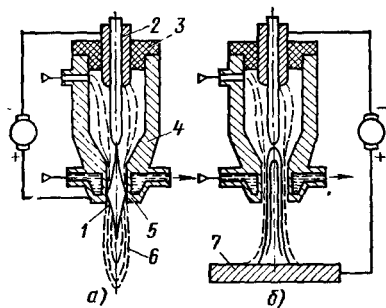
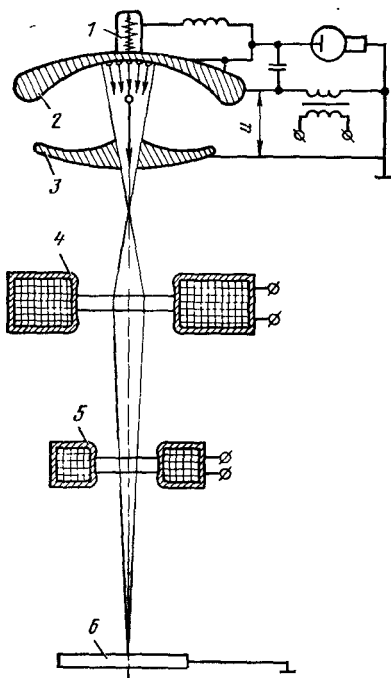


Рис. 14.7. Схемы получения плазменной струи:

a — выделенной из дуги; *б* — совмещенной с дугой; 1 — дуга; 2 — электрод; 3 — керамическая прокладка; 4 — канал; 5 — сопло; 6 — плазменная струя; 7 — заготовка

Рис. 14.8. Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом:

1 — катод; 2 — прикатодный электрод; 3 — ускоряющий электрод (анод); 4 — магнитная линза; 5 — магнитная отклоняющая система; 6 — деталь



сплавов, применяемых в авиационной промышленности, а также неметаллов (стекла, керамики, металлокерамики и др.).

Сварку можно выполнять вручную и автоматически.

Электронно-лучевая и лазерная сварка. Принципиально новые технологические возможности появились в последние годы с внедрением в практику электронно-лучевой и лазерной сварки. Наиболее широко в настоящее время внедрена электронно-лучевая сварка.

Образование электронного луча и его фокусировка осуществляется с помощью специального устройства, называемого электронно-лучевой пушкой. Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом показана на рис. 14.8.

Важным преимуществом является возможность сварки без разделки кромок с получением узкой и глубокой зоны проплавления вследствие ввода минимального количества концентрированного тепла и значительных скоростей охлаждения.

Электронно-лучевая сварка оказалась наиболее эффективным процессом при изготовлении узлов шасси. Для сварки шасси успешно эксплуатируются установки ЭЛУ-22, оснащенные четырьмя подвижными электронными пушками. Скорость сварки на ЭЛУ с ускоряющим напряжением 60 кВт составляет от 5 до 80 м/ч.

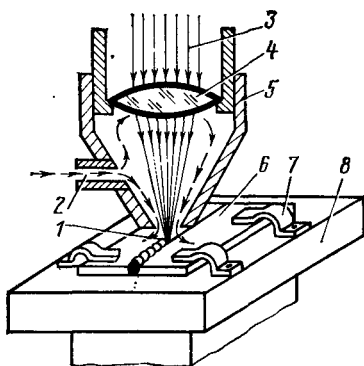


Рис. 14.9. Схема лазерной сварки:
 1 — сварной шов; 2 — иглуецер подвода защитного газа; 3 — лазерный луч; 4 — объектив; 5 — защитное сопло; 6 — свариваемые детали; 7 — прижимы. 8 — стол

По своим технологическим возможностям и особенностям к электронно-лучевой сварке близка лазерная сварка.

Квантовые генераторы оптического диапазона позволяют получать интенсивные и остронаправленные пучки света высокой концентрации.

Лазеры позволяют проводить сварку деталей из различных сталей и сплавов толщиной до 50 ... 60 мм на воздухе с местной защитой.

Схема лазерной сварки показана на рис. 14.9.

Деформация изделий при сварке и методы борьбы с ними.

При сварке металлов плавлением в процессе их нагрева и последующего охлаждения возникают значительные температурные напряжения и деформации.

Основными причинами их появления являются: неравномерный нагрев, усадка наплавленного металла при переходе его в твердое состояние, структурные изменения наплавленного и основного металла в зоне термического влияния, сопровождающиеся изменением объема.

Деформации можно предупредить или уменьшить: правильным выбором способа сварки и режима сварки; соблюдением порядка сварки, порядка наложения швов; применением (в возможных случаях) предварительного нагрева конструкций перед сваркой;

деформированием деталей перед сваркой в обратном направлении на величину предполагаемой деформации путем изгиба, растяжения и т. д.;

увеличением размеров заготовок под сварку на величину продольной и поперечной усадок;

увеличением отвода тепла от свариваемого изделия; жестким закреплением свариваемых элементов при сварке или применением ребер жесткости.

Часто полностью устранить сварочные деформации не удается. Поэтому при необходимости возможно применение правки готовых изделий. Правка производится в холодном или нагретом состоянии механическим путем или путем наложения ложных швов, которые деформируют изделие в направлении, противоположном деформациям, вызываемым сваркой. Для уменьшения сварочных напряжений необходимо предусматривать после сварки высокий отпуск, предусматривать в возможных случаях прокатку или проковку сварных швов и околошовной зоны.

§ 2. ПРОЦЕССЫ СБОРКИ ПРИ СВАРКЕ ДАВЛЕНИЕМ

Всем способам сварки давлением присуще пластическое деформирование в зоне соединения. Пластическая деформация может осуществляться с нагревом и без нагрева.

Место соединения нагревается до расплавления, до термопластического состояния или без расплавления.

Сварку можно производить на воздухе, в вакууме, в среде защитных газов.

Параметрами технологического процесса сварки давлением являются: давление, температура, время, среда, скорость взаимного перемещения (при сварке трением и взрывом).

Электрическая контактная сварка. Контактная сварка является одним из высокопроизводительных способов сварки, она легко поддается механизации и автоматизации. По виду свариваемого соединения, определяющего тип машины, контактную сварку разделяют на точечную, шовную (роликовую) и стыковую (рис. 14.10).

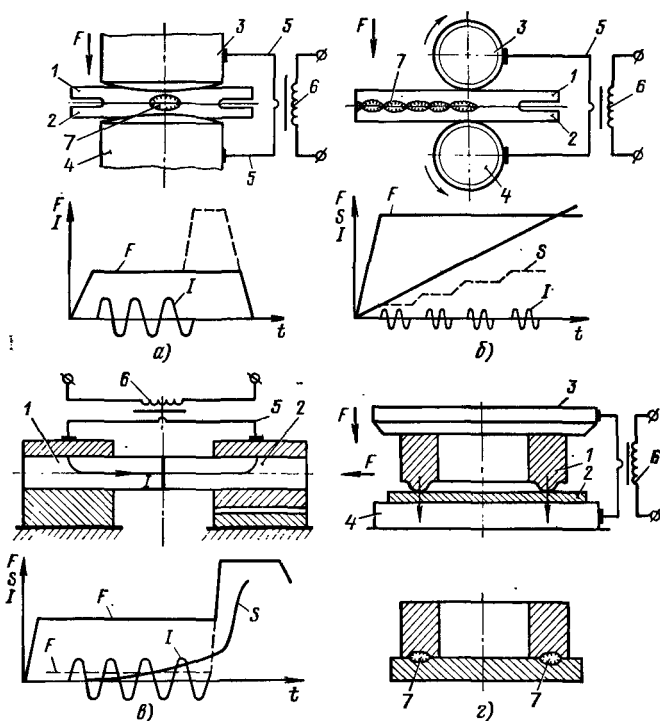


Рис. 14.10. Основные способы контактной сварки:

а — точечная; б — роликовая (шовная); в — стыковая; г — рельефная; F — усилие; S — перемещение деталей; I — сварочный ток

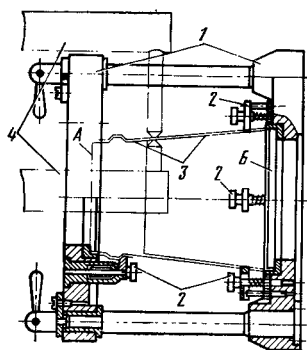


Рис. 14.11. Приспособление для сварки изделий на точечной сварочной машине:

1 — опорные плиты приспособления; 2 — зажимы для крепления свариваемых деталей; 3 — свариваемые детали, 4 — консоли сварочной машины

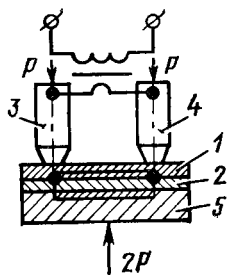


Рис. 14.12. Схема односторонней точечной сварки:

1, 2 — свариваемые листы; 3, 4 — электроды; 5 — медная прокладка

При производстве самолетов и вертолетов, в конструкции которых используются листы и профили из сталей, титана, алюминия, широко применяется электроконтактная точечная и шовная сварки.

Схема точечной контактной сварки приведена на рис. 14.10, а. К деталям 1 и 2, установленным внахлестку между электродами 3 и 4, по токопроводам 5 подводится электрический ток от сети переменного тока через трансформатор 6. В процессе сварки электроды сжимают свариваемые детали с силой F .

Технологический процесс состоит из ряда последовательно выполняемых операций: подготовка поверхностей деталей к сварке; предварительная сборка и прихватка деталей; сварка; контроль качества; термообработка; нанесение защитных покрытий; окончательный контроль изделия.

Подготовка поверхностей деталей к сварке заключается в создании хорошего электрического контакта между свариваемыми деталями, а также между деталями и электродами. В условиях опытного производства обычно поверхности деталей подготавливают вручную зачисткой щетками, наждачными кругами или абразивами на мягкой основе; в серийном производстве стальные детали или детали из алюминиевых сплавов, изготавливаемые из листов, подвергают химической обработке, а отливки, поковки очищают обдувкой песком.

Предварительная сборка и прихватка деталей выполняется обычно в сборочных приспособлениях. Заключается она в установке и креплении деталей фиксаторами приспособления и прихватке деталей контрольными точками, после чего панель или узел передают на сварочную машину для сварки всех точек или швов.

Приспособления, в которых выполняется весь объем сборочно-сварочных работ, проектируют с учетом использования их в комплексе с универсальной сварочной машиной (рис. 14.11).

Эти приспособления обеспечивают соосность соединяемых кольцевых деталей и заданный размер между ними по опорным

поверхностям *A* и *B*, к которым собираемые детали прижимаются зажимами 2. Прихватку и сварку кольцевого шва производят на универсальной машине.

Сварка деталей. Сварочное оборудование выбирают в зависимости от потребной силы тока и условий сварки данного изделия. Электрические сварочные машины характеризуются диапазоном силы сварочного тока, величиной электродного давления, габаритными размерами и конструкцией консольно-силового механизма, на котором размещены электроды или ролики.

Привод для перемещения электродов может быть механическим, пневматическим или гидравлическим. Управление машиной осуществляется электронной системой. Одной из наиболее важных задач управления является синхронизация привода электродов и включения сварочного тока. Она осуществляется по цикловому графику.

На рис. 14.10, *a*, *б* приведены цикловые графики, относящиеся к точечной и роликовой сварке.

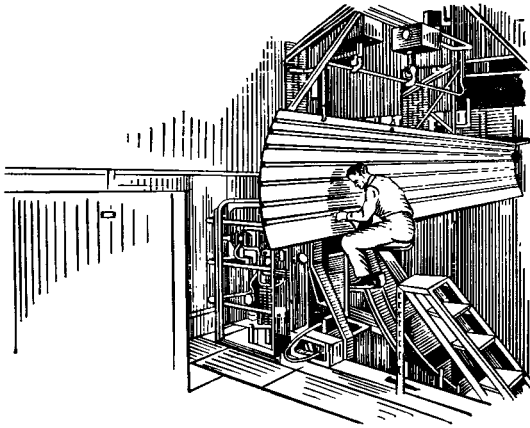
При точечной сварке (рис. 14.10, *a*) усилие на электроды *F* нарастает постепенно и, когда оно достигает наибольшей величины, подается кратковременный (0,01 ... 0,5 с) импульс сварочного тока до появления расплавленной зоны или ядра точки. При сварке алюминиевых сплавов сварочное давление (на электроды) изменяется в пределах 400 ... 600 кгс, а ковочное давление достигает 1000 ... 1200 кгс.

По способу подведения тока точечная сварка может быть двусторонней и односторонней. Для повышения плотности тока в зоне соединения при одностороннем токопроводе (рис. 14.12) детали располагают на токопроводящей медной подкладке. Одностороннюю сварку применяют при затрудненном доступе к одной из деталей, а также при необходимости увеличения производительности процесса, так как в этом случае можно сваривать одновременно несколько точек.

Разновидностью точечной сварки является рельефная сварка, когда первоначальный контакт происходит по ограниченной рельефами площади (рис. 14.10, *г*). Эти рельефы в виде выступающих точек или протяженного выступа замкнутой формы формируются предварительно на одной из деталей штамповкой или механической обработкой.

При шовной (роликовой) сварке образование непрерывного соединения осуществляется путем постановки ряда перекрывающих друг друга точек посредством вращающихся дисковых электродов (рис. 14.10, *б*). По положению роликов в момент прохождения тока различают непрерывную и шаговую (прерывистую) шовную сварку. В первом случае ток проходит при вращающихся роликах, во втором — при неподвижных. Шовная сварка применяется для получения герметичных непрерывных швов, а также прерывистых швов вместо точечной сварки.

Рис. 14.13. Установка для сварки на универсальной сварочной машине крупногабаритных панелей



Шовная сварка имеет ряд разновидностей (односторонняя, многошовная и др.).

Шовная сварка отличается высокой скоростью выполнения соединений (до 5 м/мин и более), широко используется в промышленности для создания различных емкостей, топливных баков, герметичных отсеков.

Деформации изделия после сварки вызываются двумя основными причинами: неравномерностью нагрева и местными деформациями под давлением электродов.

В качестве общих мероприятий, предупреждающих возникновение деформаций или значительно уменьшающих их величину, рекомендуется прихватка деталей перед сваркой, выбор наиболее рациональной последовательности выполнения швов, применение нагрева или охлаждения деталей во время сварки.

Деформация кольцевых сварных изделий устраняется путем обтяжки на прессах типа ПКД-2. Сварные изделия произвольной формы правятся после сварки на оправках или плитах рихтовкой.

Хорошие результаты при устранении деформаций дает также проковка точечных или роликовых швов после сварки.

Сборка узлов и панелей с применением контактной сварки. Варианты технологического процесса сборки-сварки разнообразны. На рис. 14.13 показан процесс сварки на сварочной установке крупногабаритных панелей. Для сварки в этом случае используется машина с горизонтальным расположением электродов, что позволяет установить панель вертикально и сократить таким образом площадь под сварочную установку, а также создать хорошие условия для наблюдения за процессом сварки.

На рис. 14.14 приведен пример использования универсальной сварочной машины в комплексе с автоматически действующим манипулятором (по типу выравнивающего устройства пресса КП-602, см. гл. 13). Манипулятор позволяет сваривать панели

одинарной и двойной кривизны с автоматическим выравниванием поверхности панели относительно оси электродов.

На рис. 14.15 показана схема установки манипулятора с программным управлением для сварки узлов на универсальной сварочной машине. Сборка-сварка узлов в данном случае производится за два установка: вначале в специальном приспособлении — сборка и прихватка деталей, а затем предварительно собранный узел поступает на установку.

Собранное изделие 4 устанавливается на тележку 1 и закрепляется пневмозажимами в планшайбе 2. При помощи механизма 3 изделие может поворачиваться вокруг своей оси и перемещаться вместе с тележкой вдоль оси, поэтому сварка возможна в любой точке на поверхности изделия.

Сварочная установка имеет счетно-импульсную позиционную систему числового программного управления с обратной связью по положению рабочего органа.

Применение установок с программным управлением позволяет в 2 ... 3 раза повысить производительность труда, качество сборочно-сварочных работ и культуру производства.

Ультразвуковая сварка. При ультразвуковой сварке в качестве источника энергии используются упругие колебания высокой частоты, разрушающие окисные пленки и способствующие развитию повышенных температур в зоне контакта.

На рис. 14.16, б приведена схема для роликовой сварки ультразвуком.

Машины для ультразвуковой сварки состоят из источника питания, механической колебательной системы, привода давления и аппаратуры управления.

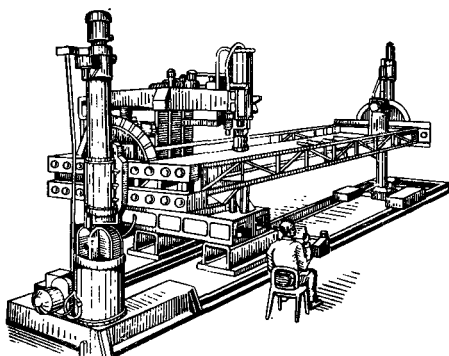


Рис. 14.14. Сварка панелей на универсальной сварочной машине, снабженной автоматически действующим манипулятором

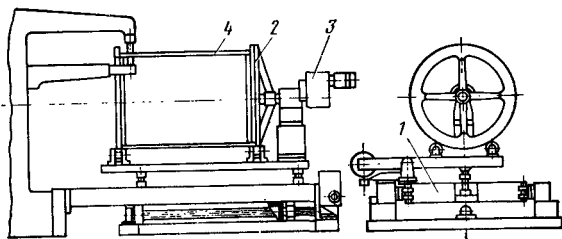


Рис. 14.15. Сварка цилиндрических узлов на универсальной сварочной машине, снабженной установкой с программным управлением

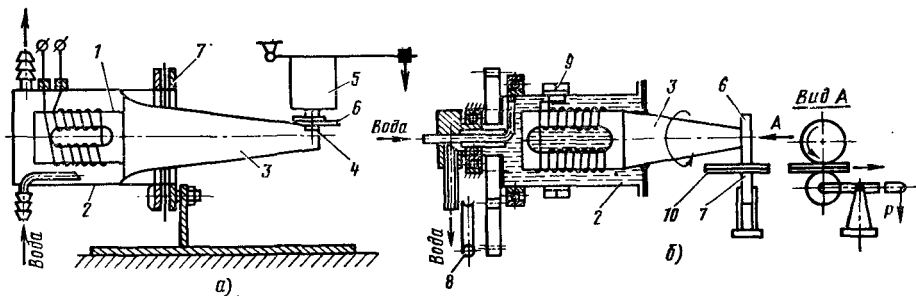


Рис. 14.16. Схема установки для сварки ультразвуком:

a — точечной; *б* — роликовой; 1 — электрический преобразователь; 2 — корпус преобразователя; 3 — трансформатор упругих колебаний; 4 — опора; 5 — механизм давления; 6 — сваривающий ролик; 7 — прижимной ролик; 8 — механизм привода; 9 — подвод тока от ультразвукового генератора; 10 — свариваемые детали

На рис. 14.16, *a* приведена схема установки для точечной сварки ультразвуком.

Колебательная система состоит из электромеханического преобразователя 1 с обмотками, заключенного в металлический корпус 2, охлаждаемый водой; трансформатора упругих колебаний 3; сварочного наконечника; опоры с механизмом давления 5 и свариваемых деталей 6. Крепление колебательной системы производят с помощью диафрагмы 7.

Прочность соединения достаточно высока (не менее 90 % от наиболее прочного металла в этом соединении).

Хорошо свариваются алюминий, медь и их сплавы, удовлетворительно — коррозионно-стойкие стали. Область применения: приварка тонких обшивок к каркасу панелей, отсеков, соединения разнородных материалов различных толщин и т. д.

Диффузионная сварка в вакууме. Диффузионная сварка в вакууме позволяет осуществлять соединения металлов в твердом состоянии.

Диффузионная сварка происходит вследствие взаимной диффузии атомов контактирующих поверхностей при относительно длительном воздействии в условиях вакуума, повышенных температур и незначительной пластической деформации. Сварку производят в специальных сварочных установках (рис. 14.17). Соединяемые детали помещают в вакуумную камеру. Для защиты их от интенсивного окисления и азотирования в процессе разогрева и сварки в рабочей камере обеспечивается вакуум.

Преимуществами диффузионной сварки являются: простота способа и высокое качество соединений; возможность соединения разнородных материалов; отсутствие чрезмерного нагрева и разупрочнения материалов; минимальная деформация; минимальная затрата электроэнергии; высокая экономичность способа; гигиеничность способа (отсутствие газовых выделений, пыли и т. д.); возможность автоматизации процесса.

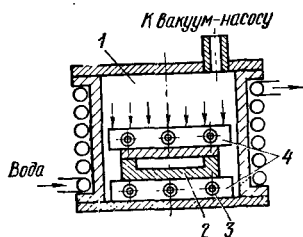


Рис. 14.17. Схема установки для диффузионной сварки в вакууме:

1 — сварочная камера; 2 — свариваемый узел; 3 — нагреватели; 4 — нагреваемая плита

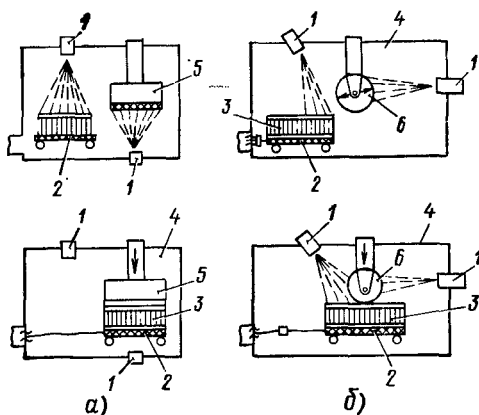


Рис. 14.18. Схема сварки конструкции из титановых сплавов в твердом состоянии с использованием сверхпластичности:

а — нагружение с помощью прессы; б — нагружение с помощью ролика; 1 — источник тепла; 2 — подвижный стол; 3 — свариваемая панель; 4 — сварочная камера; 5 — пресс с нагреваемой плитой; 6 — ролик \varnothing 200 мм

Все более возрастающий интерес к диффузионной сварке в вакууме привел к большому разнообразию технологических решений соединения металлов в твердом состоянии. Они различаются по схеме деформирования, характеру защитной среды, способам нагрева, последовательности процессов нагрева и нагружения.

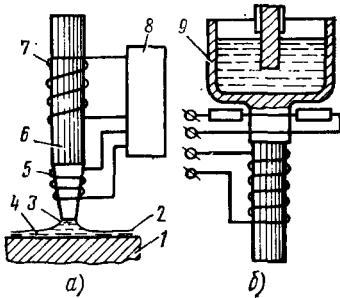
На рис. 14.18 показана схема сварки титановых конструкций в твердофазном состоянии с использованием эффекта сверхпластичности. В камере с вакуумом 10^{-5} мм рт. ст. помещают заготовки из титанового сплава и нагревают их до температуры, близкой к полиморфному состоянию (860 ... 950 °С). Нагружение производят со скоростью, соответствующей использованию эффекта сверхпластичности (0,03 ... 0,2 мм/мин). Процесс исключает термообработку после сварки и дает возможность сваривать детали из титановых сплавов широкой номенклатуры.

Для сварки в твердом состоянии можно использовать прессовое оборудование и прокатные станы. Успешно используются установки СДВУ (СДВУ-2 ... СДВУ-50) и УССП. Применяется также сварка в соляных ваннах и установки УДС-2,5×1,5; УДС-2, 5×8 и УДС-2, 5×16, в которых для передачи давления и нагрева используются специальные керамические материалы.

§ 3. ПРОЦЕССЫ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Пайка — процесс соединения материалов с нагревом ниже температуры их автономного расплавления путем смачивания, растекания и заполнения зазора между ними жидким припоем и сцепления их при кристаллизации шва.

Рис. 14.19. Схема лужения с применением ультразвука:



а — при работе паяльником; б — при работе в ванне; 1 — деталь из алюминиевого сплава; 2 — окисная пленка; 3 — жидкий припой; 4 — частички окисной пленки; 5 — электроннагревательная обмотка; 6 — вибратор; 7 — обмотка возбуждения вибратора; 8 — генератор ультразвука; 9 — ванна

При применении рациональных сочетаний спаиваемых материалов и припоев и создании конструкций с оптимальной площадью перекры-

тия надежность паяных соединений в 4 раза выше, чем сварных для самолетов, и в 20 раз выше для космических аппаратов.

Технологический процесс пайки состоит из следующих основных операций: подготовка поверхности; сборка под пайку; нанесение флюса и припоя; нагрев места спая; промывка и очистка шва; контроль.

Подготовку поверхности осуществляют путем подгонки друг к другу припаяваемых поверхностей, очистки деталей уже известными способами, применяемыми при подготовке к сварке. В серийном производстве применяется преимущественно химическая очистка.

При соединении деталей из алюминиевых сплавов, не поддающихся непосредственно пайке из-за наличия на поверхности окисной пленки, участки под пайку очищают от окисных пленок и подвергают лужению с применением ультразвука (рис. 14.19). Поверхности неметаллических, в частности, волокнистых композиционных материалов, подвергают металлизации. Наиболее широко применяют гальванические покрытия.

Сборку под пайку производят обычно в приспособлениях. При конструировании приспособлений особое внимание должно быть обращено на согласование изменений размеров деталей оснастки и изделия при нагреве и охлаждении. Это достигается или подбором материалов с соответствующими коэффициентами термического расширения, или путем легко деформируемых деталей оснастки, или же обеспечением свободного перемещения изделия внутри оснастки.

Нанесение флюса и припоя осуществляется различными способами в зависимости от их состава и особенностей. Различают припой низкотемпературные с температурой плавления ниже 450°C и $\sigma_{\text{в}}$ до $12 \cdot 10^7$ Па [12 кгс/мм^2], которые выплавляют на основе олова, висмута, кадмия, свинца, цинка, индия, и высокотемпературные, с температурой плавления выше 450°C и $\sigma_{\text{в}} = 50 \cdot 10^7$ Па [50 кгс/мм^2] и более. Они имеют в своей основе медь, золото, серебро, никель, кобальт, железо, алюминий, титан и др.

Для обеспечения смачиваемости металла детали припоем, очистки сопрягаемых поверхностей от жировых и окисных пленок и защиты металлов от окисления в зависимости от свойств соединяемых металлов и припоев применяют различные флюсы и способы защиты металлов и припоя от окисления в процессе пайки.

По способу нагрева различают пайку: в печах вакуумных и с контролируемой атмосферой, индукционную, электросопротивлением, погружением в расплавы припоев, газовыми горелками, паяльниками, а также концентрированными источниками, кварцевыми лампами, электронно-лучевыми и лазерными установками.

Очистка шва после пайки от остатков флюсов необходима для предупреждения коррозии. В случаях, когда такая очистка трудна или невозможна, пайку выполняют в защитной атмосфере. Применение при пайке защитной атмосферы или флюсов в виде газовых смесей позволяет механизировать и автоматизировать процесс пайки.

Рассмотрим некоторые примеры с применением пайки.

Пайка трубопроводов. На рис. 14.20 приведен пример соединения пайкой трубопровода с ниппелем. Подготовка деталей производится описанными методами. В приспособлении для сборки пайки по установочному кольцу 1 устанавливается и центрируется ниппель 2. Трубопровод 3 закрепляется в зажиме 4, что позволяет центрировать его относительно ниппеля и выдерживать в заданных пределах λ и λ_1 . Детали соединяются в результате расплавления припоя 5, который заполняет пространство между трубкой и выточкой в ниппеле. Флюс в виде обмазки 7 наносят на поверхность трубопровода. Нагрев для расплавления припоя осуществляется нагревателем 6 (индуктором). Для выполнения соединений

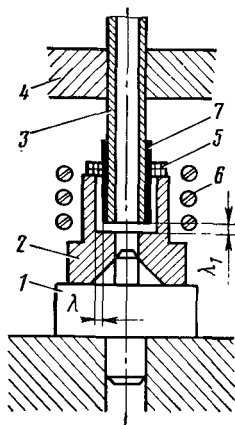


Рис. 14.20. Соединение трубопровода с ниппелем:

1 — установочный палец; 2 — ниппель;
3 — трубопровод; 4 — зажим; 5 — припой;
6 — нагреватель; 7 — обмазка

на поверхность трубопровода. Нагрев для расплавления припоя осуществляется нагревателем 6 (индуктором). Для выполнения соединений

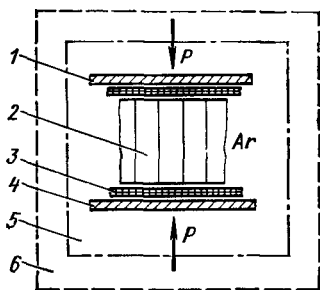


Рис. 14.21. Схема сборки паяной панели с заполнителем:

1 и 4 — верхняя и нижняя обшивки; 2 —
заполнитель; 3 — припой; 5 — герметич-
ный контейнер; 6 — нагревательная печь

Технологический процесс изготовления сотового заполнителя



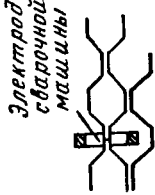
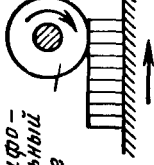
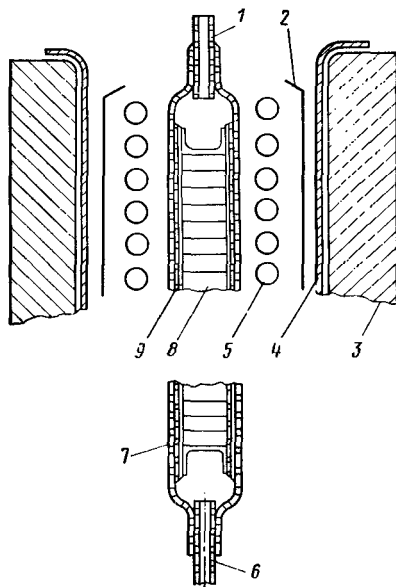
№ операций	Эскиз	Наименование операций	Оборудование	Технологическая оснастка
1		Нарезание полос фольги из листа	Роликовые ножицы	
2		Гофрирование полос и пробивка дренажных отверстий	Штамповочный пресс	Штамп для формовки
3		Подготовка гофрированных полос под сварку и сварка	Машина для точечной электросварки	Ванна для обезжиривания. Приспособление для точечной сварки
4		Обработка сотового блока по обводам	Станок для электроискровой обработки	Приспособление для обработки

Рис. 14.22. Схема установки для пайки панели кварцевыми лампами:

1 — к вакуум-насосу; 2 — рефлектор; 3 — холодильный блок; 4 — изолятор; 5 — кварцевая лампа; 6 — подача аргона; 7 — оболочка; 8 — трехслойная панель; 9 — скользящий экран



непосредственно на самолете или вертолете целесообразно применение газообразных флюсов или защита инертными газами.

Изготовление трехслойных панелей с сотовым наполнителем. Панель (рис. 14.21) состоит из обшивок 1 [и 4 толщиной 0,15 ... 0,5 мм, изготовляемых из коррозионно-стойких сталей СН-2, СН-3, ЭИ654, 1Х18Н10Т или титановых сплавов ОТ4 и др. Заполнитель в виде сот изготовляют из фольги ($\delta = 0,05 \dots 0,1$ мм) материалов тех же марок. Припой на серебряной или медно-никелевой основе поставляется также в виде фольги толщиной 0,05 мм. Обшивки изготовляются на обычном заготовительно-штамповочном оборудовании. Более трудоемким процессом является изготовление сот. Технологический процесс изготовления сот из стальной фольги приведен в таблице 14.2. Обработка поверхностей готовых сотовых блоков является наиболее ответственной операцией, так как она определяет точность обводов панелей. Чаще такая обработка производится путем электроискровой обработки (см. гл. 6). Разрезка сотоблоков производится на ленточных станках.

Подготовку поверхностей обшивок и сот производят обычно химической обработкой (травлением в кислотах) с последующей тщательной промывкой и сушкой. Время между подготовкой поверхности и пайкой должно быть минимальным.

Сборка-пайка и термическая обработка производятся в специальных сборочных приспособлениях, в которых обеспечивается требуемое взаимное положение и фиксация деталей, входящих в панель. На рис. 14.22 приведена схема установки для пайки. Пайка производится в герметичном контейнере в среде аргона. Контроль качества производится пооперационно и на готовом изделии.

Сборка-пайка и термическая обработка производятся в специальных сборочных приспособлениях, в которых обеспечивается требуемое взаимное положение и фиксация деталей, входящих в панель. На рис. 14.22 приведена схема установки для пайки. Пайка производится в герметичном контейнере в среде аргона. Контроль качества производится пооперационно и на готовом изделии.

§ 4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При подготовке деталей к сборке, непосредственно при сварке и пайке, а также на готовых изделиях проверяют: качество исходных материалов на основании механических испытаний, хи-

мических анализов и проб на свариваемость и паяемость; качество подготовки деталей по степени очистки кромок и подгонки контактных поверхностей; режимы процессов сварки и пайки, качество швов, их размеры, формы и герметичность соединений.

При выполнении работ по сборке-сварке и сборке-пайке производится 100 %-ный контроль всех изделий пооперационно с применением специальных средств.

Контроль готового изделия является завершающей операцией и включает выявление дефектов сварки и пайки и сдаточные испытания готового изделия в соответствии с техническими условиями.

При сварке и пайке возможны дефекты сварного шва, местные дефекты и деформации. Характерными дефектами являются непровар металла, пережог, подрез деталей, наплав присадочного металла, шлаковые и флюсовые включения, выплески, недостаточный диаметр ядра раковины, непропай, наплавы и натеки, неполное заполнение шва припоем, скрытые и поверхностные трещины и поры и т. д.

Внешний осмотр и обмер швов позволяет обнаруживать внешние трещины, поры и подрезы при помощи луны, штангенциркуля и специальных приспособлений. Скрытые внутренние дефекты швов обнаруживают металлографическими исследованиями, просвечиванием и испытанием швов на герметичность.

Магнитный метод контроля позволяет обнаружить в шве внутренние трещины, места непровара металла и шлаковые включения. Этот метод основан на том, что всякие дефекты в намагниченном металле изменяют распределение магнитного потока. Для контроля изделия намагничиваются, а затем на их поверхность наносится магнитный порошок в виде суспензии (порошок в масле или керосине). По местным скоплениям магнитного порошка судят о наличии дефектов в шве.

Просвечивание швов рентгеновскими или гамма-лучами позволяет регистрировать дефекты сварки или пайки на светочувствительной пленке (рис. 14.23) на специальных установках. Различная степень поглощения лучей участками поверхности шва указывает на наличие в нем дефектов. Для расшифровки и выявления дефектов по снимкам пользуются эталонами рентгенограмм.

В перспективе в практику контроля может быть внедрена разработанная сравнительно недавно советскими учеными электро-рентгенография — новый способ получения рентгеновских снимков с помощью электричества без применения пленки. Ее заменяет электрически заряженная пластинка полупроводникового материала. Пользоваться одной пластинкой можно около трех тысяч раз.

Ультразвуковой контроль основан на способности различных сред по-разному отражать ультразвуковые колебания. Современные ультразвуковые дефектоскопы позволяют выявить дефекты в виде трещин, непроваров, шлаковых и других включений диаметром менее 1 ... 2 мм и даже 0,1 мм.

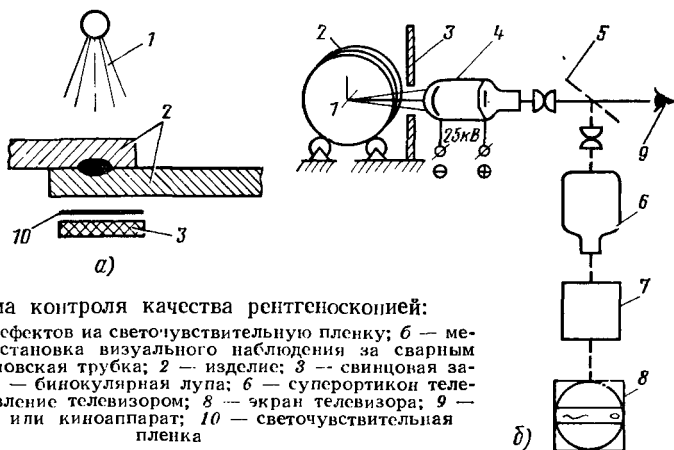


Рис. 14.23. Схема контроля качества рентгеноскопией:

a — регистрация дефектов на светочувствительную пленку; *б* — механизированная установка визуального наблюдения за сварным швом; 1 — рентгеновская трубка; 2 — изделие; 3 — свинцовая защита; 4 — ЭОП; 5 — бифокулярная лупа; 6 — суперортикон телевизора; 7 — управление телевизором; 8 — экран телевизора; 9 — глаз наблюдателя или киноаппарат; 10 — светочувствительная пленка

Описанные методы контроля позволяют получить оценку качества шва, но не дают представления об изменении прочности соединения.

Прочность соединений проверяется испытанием на прочность при ударных, статических и повторно-статических нагрузках технологических образцов изделия (образцов-свидетелей) или выборочным испытанием на прочность до разрушения серийных изделий (например, каждое десятое или сотое изделие).

Испытания сварных соединений на герметичность в тех случаях, когда это требуется по техническим условиям, производится жидкостью или газом по схеме, описанной в гл. 13.

Для предохранения от коррозии после контроля и устранения дефектов изделия из стали окрашивают, из легких сплавов — грунтуют, оксидируют в хромовой кислоте или покрывают снаружи светлым лаком.

§ 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ СВАРНЫХ И ПАЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При проектировании изделий с использованием в качестве неразъемных соединений сварки и пайки наряду с конструктивными следует учитывать и технологические требования.

При выборе материала для сварных соединений необходимо учитывать их свариваемость или возможность применения технологических мероприятий для обеспечения хорошей свариваемости.

При выборе способов сварки следует исходить из степени теплового воздействия на металл, качества сварного соединения с учетом особенностей конструкционных материалов (активности к различным газам, чувствительности к концентраторам напряжений и т. д.), возможности механизации и автоматизации процессов сварки. Важным фактором является также ответственность

соединений. Для наиболее ответственных соединений необходимо выбирать способы, гарантирующие высокую прочность и надежность соединений (например, сварка в среде защитных газов, электронно-лучевая сварка и др.).

Конструктивное оформление сварных и паяных узлов, панелей и отсеков должно обеспечить свободный подход к местам сварки и пайки для выполнения соединения и последующего контроля, возможность защиты от воздействия атмосферы воздуха с внешней и, в случае необходимости, с внутренней стороны шва.

Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций нельзя допускать скопления сварных швов и пересечений их друг с другом. С целью уменьшения концентраций напряжений желательно удалять швы от массивных выступающих частей, отверстий и т. п.

При конструировании размеры и форму свариваемых элементов следует выбирать исходя из применения высокопроизводительных способов сварки, выполнения сварки в нижнем положении, сведения к минимуму суммарной длины швов. Механизация и автоматизация производственных операций обуславливаются простой геометрической формой соединений (прямолинейные, кольцевые, круговые, эллипсные).

При необходимости проведения подогрева (или охлаждения) и последующей термической обработки для снятия сварочных напряжений или старения собранного узла необходимо предусматривать подходы для установки узла в термофиксирующих приспособлениях в местах, где требуется соблюдение заданных в конструкции точных размеров.

§ 6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ И ПАЙКЕ

Процессы сварки и пайки, если не соблюдены все условия техники безопасности, могут оказать вредное воздействие на здоровье рабочих действием световых, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей электрической дуги, загрязнением атмосферы пылью, вредными парами и газами, образующимися при плавлении металлов, припоев и флюсов. Кроме того, не исключены ожоги от капель металла, припоя, шлака и флюсов, возможность поражения человека электрическим током, взрывы и пожары из-за неправильного обращения с баллонами сжатого газа либо выполнения сварки вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ.

СБОРКА УЗЛОВ И ПАНЕЛЕЙ КЛЕЕНОЙ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА КЛЕЕВ И СОЕДИНЕНИЙ

Последние годы характеризуются все более широким применением клеевых соединений в самолето- и вертолетостроении.

Особое значение имеют клеевые соединения материалов, которые в отличие от сварных, заклепочных и болтовых соединений не ослабляют прочности конструкции за счет сварных швов, точек или отверстий и обеспечивают более равномерное распределение напряжений по всей площади склеивания. Применение клеев позволяет повысить усталостную прочность и коррозионную стойкость конструкций, снизить их массу и трудоемкость изготовления, улучшить качество обтекаемой поверхности. В ряде случаев удается выполнять соединения с герметизацией.

К недостаткам клеевых соединений относятся ограниченная теплостойкость, относительно низкая прочность, особенно при неравномерном отрыве (отдире), склонность к «старению» клеевой пленки, необходимость нагрева изделий при склеивании большинством клеев, предназначенных для склеивания металлов, и отсутствие достаточно надежных объективных неразрушающих методов контроля качества клеевых соединений.

В отечественном авиастроении для склеивания деталей из металлов, конструкционных неметаллических материалов и их сочетаний наиболее широко применяют следующие клеи: фенольно-каучуковые, фенольно-поливинилацетальные с кремнийорганическими и другими стабилизирующими добавками, полиуретановые, эпоксидные, кремнийорганические с различными модифицирующими добавками, клеи на основе неорганических соединений.

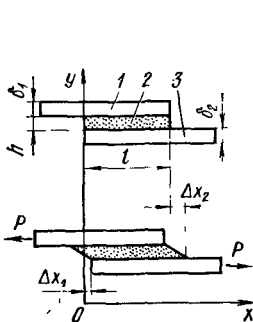


Рис. 15.1. Соединение внахлестку:

1 и 3 — соединяемые элементы; 2 — клей

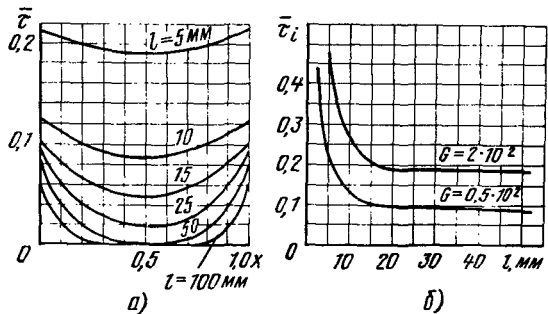


Рис. 15.2. Влияние длины нахлестки на распределение и величину напряжений сдвига в клеевом шве:

а — распределение напряжений по длине нахлестки; б — зависимость максимального напряжения сдвига от длины нахлестки

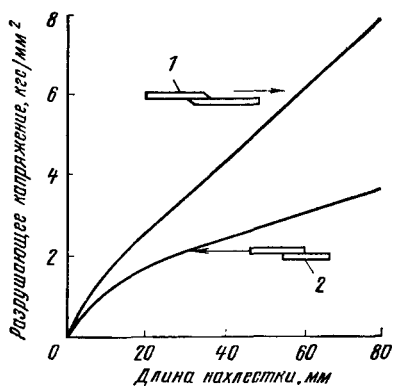


Рис. 15.3. Соединение обычных и скошенных соединений внахлестку по их прочности:

1 — нахлестка со скошенными кромками; 2 — нахлестка с прямоугольными кромками

схема деформирования клеевой пленки под действием растягивающих усилий. На рис. 15.2 приведены графики распределения напряжений для соединения алюминиевого сплава с алюминиевым сплавом толщиной 2 мм слоем клея толщиной 0,2 мм с модулем сдвига $G = 0,5 \cdot 10^5$ Па ($0,5 \cdot 10^2$ кгс/мм²).

По оси абсцисс отложена безразмерная координата x , меняющаяся от нуля до единицы. По оси ординат отложена величина $\bar{\tau}$, пропорциональная напряжениям сдвига τ : $\tau : \tau = \bar{\tau} \delta_2$.

Из графика видно, что с ростом длины нахлестки при заданной нагрузке напряжения τ падают, причем, чем меньше длина нахлестки, тем равномернее распределение напряжений.

Прочность клеевого соединения внахлестку можно повысить применением скошенных кромок (рис. 15.3).

§ 2. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ СКЛЕИВАНИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ

Укрупненный технологический процесс склеивания включает следующие операции: предварительная сборка и разборка узла (панели); подготовка поверхности деталей под склеивание; нанесение подслоя клея (грунтовки) и его термообработка (в случае необходимости); нанесение клея; открытая выдержка; сборка; отверждение клея; контроль качества склеивания.

В процессе предварительной сборки склеиваемые детали устанавливаются в требуемое положение и осуществляется проверка согласованности размеров деталей и качества прилегания склеиваемых поверхностей. Хорошее прилегание склеиваемых поверхностей обеспечивает получение тонкой равномерной по толщине клеевой прослойки без местных пустот.

В зависимости от температуры склеивания все клеи могут быть разбиты на две группы:

а) отверждающиеся при комнатной температуре;

б) отверждающиеся при температурах 160 ... 180 °С.

Клеи в исходном состоянии могут быть жидкими, пастообразными, пленочными, порошкообразными и твердыми (в виде прутков и палочек).

Прочность клеевого соединения зависит от состава клея и склеиваемого материала, конструктивных факторов и технологии выполнения соединения.

Наиболее широкое распространение находят соединения внахлестку. На рис. 15.1 приведена

Подготовка поверхности склеиваемых деталей является одной из важнейших операций технологического процесса, так как она во многом определяет качество клеевых соединений. Она заключается в химической, электрохимической или механической обработке, изменяющей шероховатость и энергетические характеристики склеиваемой поверхности, повышая ее адгезионную способность.

Способы подготовки поверхности под склеивание многообразны и зависят от свойств клея, склеиваемого материала и условий эксплуатации.

Механические методы подготовки поверхности позволяют в значительной степени увеличить истинную поверхность склеивания. Это достигается зашкуриванием, гидropескоструйной обработкой, обдувкой корундом или металлическими опилками, а также механической обработкой.

Для алюминиевых сплавов (плакированных и неплакированных) широко используется анодирование в хромовой и серной кислотах.

Магниевые сплавы подвергаются химическому оксидированию, а в отдельных случаях дополнительной лакокрасочной защите.

При подготовке к склеиванию сталей лучшие результаты достигаются при кадмировании и цинковании. Коррозионно-стойкие стали обрабатываются в растворах смеси различных кислот и солей.

Поверхности деталей из титановых сплавов анодируются или обрабатываются в растворе концентрированной серной кислоты и бихромата натрия.

Перед нанесением клея поверхности деталей должны быть обезжирены. Обезжиривание выполняется различными методами, в частности:

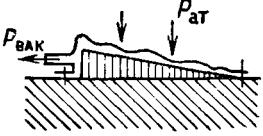
ультразвуковой очисткой в органических растворителях или водных моющих растворах щелочей и поверхностно-активных веществ;

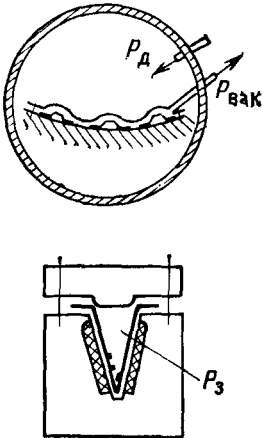
обработкой в атмосфере горячих паров растворителей и последующее травление в смеси серной и хромовой кислот (так называемый «пиклинг» процесс).

После подготовки клей на соединяемые поверхности наносится различными способами в зависимости от его исходного состояния, а также от формы и габаритных размеров склеиваемых деталей. Во всех случаях, где это возможно, предпочтение следует отдавать пленочным клеям, как более технологичным.

Сборка соединяемых деталей заключается в их установке в сборочное положение в приспособлении или по сборочным отверстиям и их закреплении. Приспособления для сборки и склеивания должны обеспечить правильное взаимное положение собираемых деталей, необходимую точность контуров, возможность создания давления и компенсации температурного расширения деталей без нарушения их взаимного расположения.

**Приспособления для сборки узлов и панелей
при помощи клеевых соединений**

Способ запрессовки	Схема приспособления	Нагрев
<p>Механический при помощи винтовых зажимов</p>		<p>В печах и облучением инфракрасными лучами</p>
<p>Пневматический или гидравлический при помощи зажимов</p>		<p>В печах и электрическими спиральными нагревателями</p>
<p>Механический при помощи универсального прессы</p>		<p>Электрический, спиральными и токами высокой частоты. Горячим воздухом, водой или паром</p>
<p>Давлением воздуха, заполняющего резиновый мешок</p>		<p>В температурных условиях закрытого помещения (цеха). В печах или автоклавах</p>
<p>Вакуумом в резиновом мешке и давлением окружающего воздуха</p>		<p>В температурных условиях закрытого помещения (цеха). В печах или автоклавах</p>

Способ запрессовки	Схема приспособления	Нагрев
<p>Вакуумом в резиновом мешке и давлением воздуха, заключенного в специальном замкнутом сосуде</p> <p>Давлением самовспенивающегося заполнителя</p>		<p>В автоклавах высокого давления</p> <p>Электрические спиральные нагреватели</p>

Отверждение клея происходит при определенном температурном режиме и давлении.

Время нагрева, давление, температуру выдержки выбирают исходя из характеристики клея, его вязкости, точности пригонки склеиваемых поверхностей и жесткости склеиваемых деталей.

Нагрев осуществляется в автоклавах, электрических печах, а также встроенными в приспособление контактными и спиральными электронагревателями либо подводом пара и воздуха.

В табл. 15.1 приведены принципиальные схемы приспособлений для создания необходимого давления. Как видно из таблицы, для этой цели могут применяться гидравлические, пневматические и вакуумные прижимы, гидравлические прессы, механические зажимы и грузы определенного веса, создающие равномерно распределенные или сосредоточенные нагрузки. Наибольшее распространение в настоящее время находят автоклавы, обеспечивающие равномерное распределение давления.

После завершения термообработки и охлаждения изделие извлекается из приспособления, зачищается от возможных подтеков клея и передается на контроль.

§ 3. ПРОЦЕССЫ СКЛЕИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА И ПРОФИЛЕЙ

Сборка-склейка металлической панели, состоящей из обшивки и набора стрингеров, производится в приспособлении, типовая конструкция которого приведена на рис. 15.4.

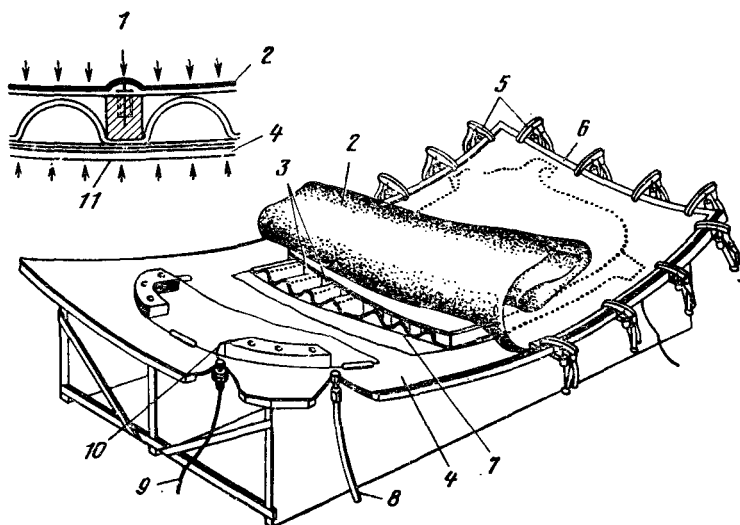


Рис. 15.4. Типовая конструкция приспособления для сборки панели:

1 — сжатый воздух; 2 — резиновая диафрагма; 3 — полость вакуума; 4 — плита приспособления; 5 — шарнирный зажим; 6 — окантовка для прижима; 7 — склеиваемые детали; 8 — вакуум-провод; 9 — провод терморары; 10 — терморара; 11 — клеевая пленка

Приспособление на специальной тележке закатывается в автоклав, где в дополнение к вакуумированию создаются для склеивания соответствующее давление и температура.

Для склеивания панелей и узлов плоских и небольшой кривизны можно применять также пресс-формы и гидравлические прессы с обогреваемыми и охлаждаемыми плитами.

Мелкие узлы склеиваются в приспособлениях с различными прижимными устройствами, устанавливаемыми на ленточные конвейеры, которые вместе с приспособлениями пропускаются через печь или другие нагревательные установки.

§ 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Конструкции с сотовым наполнителем отличаются высокой удельной прочностью, лучшими характеристиками по усталостной прочности, улучшенными аэродинамическими качествами, меньшим количеством деталей и меньшей трудоемкостью.

Технологический процесс сборки панели с сотовым наполнителем состоит из следующих основных операций:

- изготовление сотового наполнителя и придание ему требуемых форм и размеров;
- подготовка обшивки, деталей каркаса и сот к склеиванию, нанесение клея, сборка и склеивание панели;
- контроль качества склеивания.

Изготовление сотового заполнителя

Металлические соты изготавливаются из фольги алюминиевых сплавов толщиной 0,03 ... 0,15 мм. Толщина фольги, форма и размер ячейки определяются из условия обеспечения необходимой прочности и жесткости конструкции. В отечественной промышленности приняты сотовые заполнители шестигранной формы с размером сторон шестигранника 2,5; 4; 5 и 6 мм.

Существует два метода изготовления металлических сот: последовательным наращиванием предварительно профилированных лент и растяжением.

В табл. 15.2 приведена последовательность изготовления заполнителей методом растяжения пакета в условиях серийного производства. Этот метод позволяет механизировать и автоматизировать производство сот, упростить их механическую обработку. Метод растяжения применяют при изготовлении сотовых заполнителей из нежесткой фольги толщиной менее 0,08 мм.

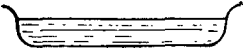
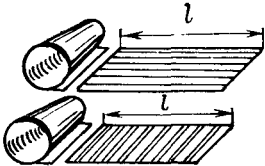
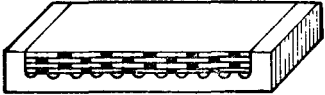

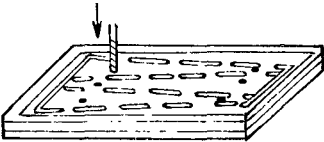
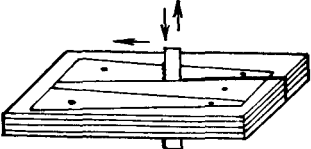
Сотовые заполнители изготавливаются также из хлопчатобумажной и стеклянной тканей, бумаги, полиамидной бумаги, преимущественно методом растяжения пакетов с последующей пропиткой различными смолами. Достаточно широкое применение находят, в частности, сотовые заполнители «Номекс» (фирма «Дюпон») и ПСП-2, изготавливаемые на основе бумаги из ароматического полиамидного синтетического волокна, пропитанной теплостойкой фенольно-формальдегидной смолой. Они отличаются более высокой по сравнению с алюминиевыми сотами удельной прочностью и жесткостью, не горят при $t > 500$ °С, не подвержены коррозии.

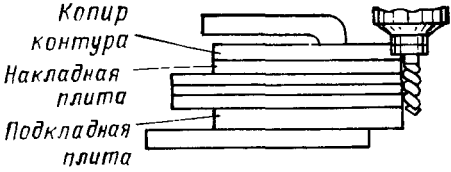

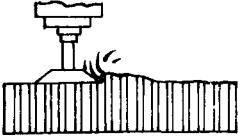
В Советском союзе созданы и успешно применяются автоматы АСП-250, АСП-1000 и АСП-1200 для нанесения клея на полосы материала, сушки его, образования дренажных отверстий и складывания пакетов сотовых заполнителей.

Требуемая форма заполнителю придается путем механической обработки. В частности, при методе растяжения после разметки пакета и сверления базовых отверстий заготовки разрезаются на ленточных пилах, фрезеруются по контуру на универсальных или специальных фрезерных станках (с постоянной и переменной малкой) и растягиваются на станках типа РС-800, РС-3000, различающихся габаритными размерами. Механическую обработку сотовых блоков производят методами, описанными в гл. 6. На рис. 15.5 приводится общий вид копировально-фрезерного станка для обработки торцевых поверхностей сотовых блоков. Растянутый сотовый блок крепится к плите станка полиэтиленгликолем.

Новым, весьма перспективным направлением является изготовление сот объемным ткачеством на станках с программным управлением с различными формами ячеек, сот с постоянной или переменной толщиной, отдельно или с одной из обшивок.

Схема технологического процесса изготовления сотового заполнителя

Операция	Эскиз
Обезжиривание и сушка фольги	
Нанесение на фольгу клеевых полос, сушка, пробивка дренажных отверстий при необходимости и складывание пакета	
Закладка пакета в приспособление для склеивания	
Склеивание пакета (отверждение клея)	
Разметка панели и сверление базовых отверстий	
Разрезка пакета на заготовки	

Операция	Эскиз
Фрезерование заготовок по контуру	
Растяжение	
Фрезерование сотового заполнителя	
Контроль (выполняется в каждой операции)	

Подготовка обшивки, деталей каркаса и сот к склеиванию производится описанными ранее способами.

Заключительной подготовительной операцией является нанесение клея на контактные поверхности обшивок и сот, их подсушка или подготовка и нанесение клеевой пленки. Нанесение клея осуществляется на установке, схема которой приводится на рис. 15.6.

В случае применения клеевой пленки последняя раскраивается по картам раскроя и прикатывается к поверхностям деталей и сот холодным или горячим роликом.

Сборка и склеивание осуществляется в специальных приспособлениях.

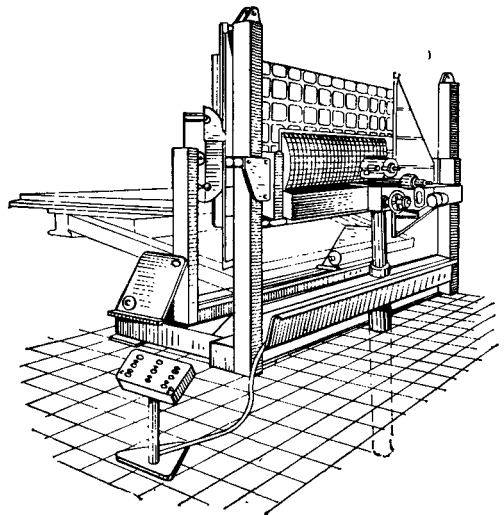


Рис. 15.5. Копировально-фрезерный станок фирмы «Фоккер».

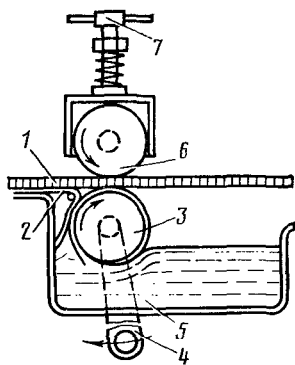


Рис. 15.6. Схема одностороннего нанесения клея на торцы сотового заполнителя:

1 — заполнитель; 2 — скребки; 3 — клеенаносящий ролик; 4 — рычаг; 5 — ванна с клеем; 6 — ролик для поджима; 7 — нажимное устройство

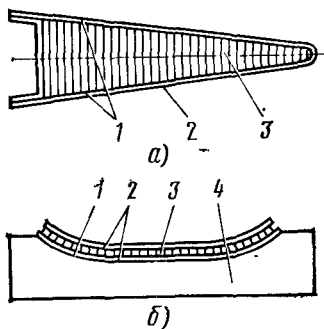


Рис. 15.7. Способы базирования узлов в процессе сборки:

а — по сотовому заполнителю; б — по обшивке; 1 — базовые поверхности; 2 — обшивки; 3 — сотовый заполнитель; 4 — болванка

Базирование при этом может осуществляться по внешней поверхности сотового заполнителя (рис. 15.7). Последний метод базирования применяют в том случае, когда заполнитель имеет ячейки небольших размеров и обладает достаточной жесткостью. Приспособление с собранным в нем изделием помещают в печь или автоклав, в которых происходит отверждение клея. На рис. 15.8 приводится схема процесса склеивания крупногабаритной панели в автоклаве, а на рис. 15.9 — схема приспособления для сборки хвостовых частей оперения.

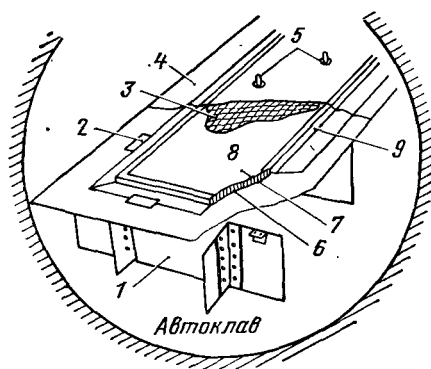


Рис. 15.8. Схема процесса склеивания панели в автоклаве:

— каркас приспособления; 2 — упоры; 3 — разреженная стеклоткань для дренажирования; 4 — воздуонепроницаемый чехол; 5 — штуцер для вакуумирования; 6 — нижняя обшивка; 7 — сотовый заполнитель; 8 — верхняя обшивка; 9 — рамка

Склеенное изделие осматривают, удаляют с него подтеки клея, контролируют и передают на следующий участок.

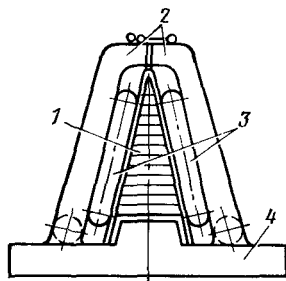


Рис. 15.9. Схема приспособления для сборки хвостовых частей оперения с базированием по поверхности заполнителя:

1 — склеиваемый узел; 2 — плита приспособления; 3 — пневмомешки; 4 — основа пневмоприспособления

§ 5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ УЗЛОВ ПАНЕЛЕЙ И ОТСЕКОВ С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ В ВИДЕ ПЕНОПЛАСТА

При использовании в качестве легких заполнителей пенопластов возможен один из следующих методов изготовления узлов панелей и отсеков: прессовый, беспрессовый и комбинированный. На рис. 15.10 приведена типовая конструкция узла, в которой в качестве заполнителя применяется пенопласт.

При прессовом методе технологический процесс осуществляется в следующей последовательности: сборка каркаса, установка пенопласта между элементами каркаса (нервюрами, лонжеронами и т. д.) и их склеивание, обработка пенопласта с пригонкой под склейку обшивки, подготовка пенопласта и обшивок к склеиванию, склеивание их в приспособлении под определенным внешним давлением прессования (отсюда — название *прессовый метод*).

Пенопласт склеивается с металлическими каркасными элементами и обшивками клеем. На рис. 15.11 приведено приспособление для склеивания хвостовой части рулей и элеронов.

При беспрессовом методе легкий заполнитель образуется в полости изделия в результате термической обработки исходного полуфабриката. Технологический процесс здесь несколько упрощается; после сборки и подготовки изделие заполняется полуфабрикатом и подвергается термообработке. По достижении определенной температуры полуфабрикат вспенивается в результате действия специального газообразователя или химической реакции между отдельными компонентами исходной композиции. Как в том, так и в другом случае, вспенивающаяся масса развивает внутреннее давление $[(3 \dots 5) \cdot 10^5 \text{ Па (до } 3 \dots 5 \text{ кгс/см}^2)]$, достаточное для надежного заполнения изделий и склеивания с обшивками и каркасными элементами. Таким образом, здесь отпадает необходимость во внешнем давлении (отсюда условное название — *беспрессовый метод*).

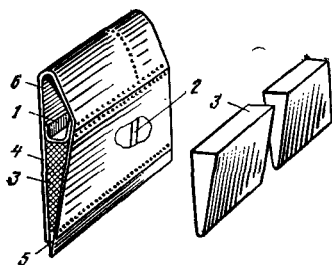


Рис. 15.10. Типовая конструкция узла, позволяющая применение заполнителя: 1 — лонжерон; 2 — нервюра; 3 — заполнитель в виде пенопласта; 4 — обшивка; 5 — законцовка; 6 — носок

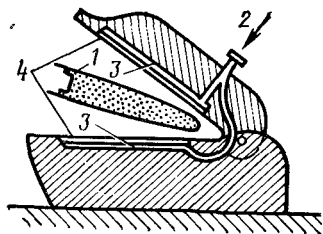


Рис. 15.11. Приспособление с двухсторонним давлением для склеивания рулей и элеронов:

1 — склеиваемый узел; 2 — подача сжатого воздуха; 3 — полости для сжатого воздуха; 4 — фольга-мембрана

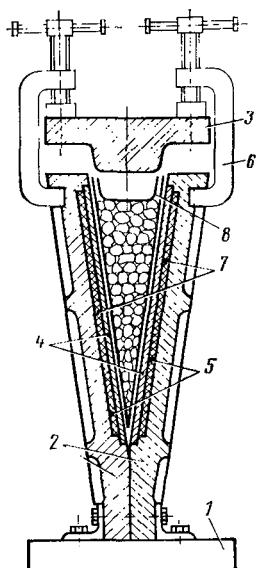
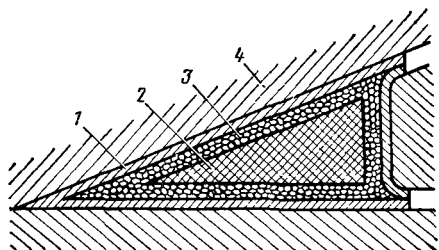


Рис. 15.12. Ограничительное приспособление для заполнения хвостовой части руля высоты самовспенивающимся наполнителем:

1 — основание; 2 — ограничительная стенка; 3 — крышка; 4 — струбцина; 5 — ленточные нагревательные элементы; 6 — прокладка на асбесте; 8 — каркас хвостовой части руля

Рис. 15.13. Схема комбинированного метода заполнения трехслойной конструкции:

1 — изделие; 2 — вкладыш из готового пенопласта; 3 — исходный полуфабрикат пенопласта типа ФК; 4 — ограничительное приспособление



После вспенивания наполнитель приобретает пенистую структуру с замкнутыми ячейками и объемной массой $\gamma = 0,015 \dots 0,20 \text{ г/см}^3$.

Необходимое количество полуфабриката для заполнения изделия определяется заданной массой наполнителя.

На рис. 15.12 приведена схема ограничительного приспособления для заполнения хвостового отсека руля самовспенивающимся наполнителем.

Для уменьшения усадки наполнителя в исходную композицию вводятся специальные добавки (карбид кремния, газовая сажа и т. д.) или используется комбинированный метод, при котором в заполняемую полость вводится вкладыш из готового пенопласта (рис. 15.13).

§ 6. ПРОЦЕССЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Наряду с чисто клеевыми в самолето- и вертолетостроении часто применяются комбинированные соединения: клеесварные, клееклепанные, клеевинтовые, клееболтовые, которые, успешно сочетая многие положительные качества тех и других, повышают прочность и эксплуатационные характеристики конструкций.

Клеесварные соединения выполняются одним из следующих способов:

точечной сваркой по слою жидкого или пастообразного клея; введением клея в зазоры между сваренными поверхностями.

Технологический процесс по первому способу включает последовательно операции предварительной сборки, подготовки по-

верхности, нанесения клея, сборки, сварки, полимеризации клея, нанесения антикоррозионных покрытий.

Подготовка поверхности производится описанными в гл. 14 методами под контактную (точечную, роликовую) электросварку. Для этого способа пригодны клеи ВК-1МС, ВК-1, ВК-9, ВК-32-ЭМ и ряд других, способных выжиматься с контактных поверхностей под давлением электродов, не препятствуя образованию сварной точки требуемого качества. Сварка производится на обычных контактных точечных машинах и других до истечения срока жизнеспособности клея.

При втором способе сварка швов производится обычным образом с несколько увеличенным давлением электродов. Затем зазоры шва заливаются жидким клеем при помощи специального шприца, после чего следует отверждение клея. Для этого способа пригодны хорошо текущие клеи, отверждающиеся без подогрева: КЛН-1, К-153, К-4С и др. Способ может быть механизирован и автоматизирован и пригоден для серийного производства.

Клеемеханические (клеезаклепочные, клеевинтовые, клееболтовые) соединения могут быть выполнены двумя способами:

установкой элементов механического крепления по ранее выполненному клеевому соединению;

установкой элементов механического крепления по незатвердевшему клею с последующим отверждением клея в комбинированном соединении.

Комбинированные соединения отличаются герметичностью, антикоррозийной стойкостью, высокой усталостной и ударной прочностью, надежностью при длительной эксплуатации.

§ 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Контроль качества клеевых соединений производится с целью выявления местных непрочклевов, пережога клея, пористой структуры и т. д.

Для предупреждения дефектов наряду с общим контролем готового изделия производится пооперационный контроль: клеев и склеиваемых материалов; приспособлений для склеивания, оборудования, приборов; внешних условий в производственных помещениях; качества подготовки склеиваемых поверхностей; режимов склеивания.

Окончательный контроль качества готовых изделий осуществляется:

внешним осмотром, когда могут быть обнаружены различные механические повреждения, вздутия, подтеки, по которым судят о качестве склеивания;

методом свободных колебаний — простукиванием небольшим стержнем из мягкого металла или текстолита, когда опытный контролер по изменению тона звука обнаруживает местные не-

проклеи и утолщения клеевой пленки. Недостатком метода является субъективность оценки качества оператором;

акустическим импедансным методом, являющимся развитием метода свободных колебаний, основанным на зависимости механического сопротивления от наличия и величины зон нарушения сцепления между отдельными элементами соединения.

Наибольшее распространение в промышленности находят дефектоскопы ИАД-2, ИАД-3, которые могут работать в комплекте полуавтоматических установок ПИ-1 и ПИ-2 для автоматизированного контроля.

Существуют и другие методы контроля, такие как вакуумный, ультразвуковой, контроль посредством инфракрасного излучения, осуществляемый, в частности, через водную среду, термографический, СВЧ дефектоскопия, контроль с помощью оптически чувствительных покрытий, рентгеновский, теплового импульса и др. Каждый из них предназначен для конкретной области применения.

О прочности клеевых соединений можно косвенно судить по результатам испытаний образцов, вырезаемых из специальных припусков на склеиваемом образце (так называемых образцов-свидетелей). Определенный процент из серии изделий проходит испытания на разрушения.

Техника безопасности и охрана труда при работе с клеями

Санитарно-технические мероприятия в сборочных цехах с приготовлением и использованием клея сводятся главным образом к удалению паров вредных свободных продуктов и растворителей и применению мер личной защиты и гигиены исполнителей (предохранение кожи рук от длительного контакта с клеем и др.).

Производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией с местным отсосом воздуха на участках склеивания больших поверхностей. Детали небольших размеров должны склеиваться в вытяжных шкафах. На участках удаления подтеков, где выделяется клеевая пыль, устанавливаются специальные пылесосы.

Полы в помещениях для изготовления клея должны быть покрыты метлахской плиткой, а стены на высоту до 1,5 ... 2 м окрашены масляной краской.

Лицам, работающим с клеями, выдается спецодежда.

При работе с клеями, содержащими большое количество летучих органических растворителей, и при обезжиривании растворителями следует соблюдать правила противопожарной безопасности.

РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

§ 1. ВИДЫ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Разъемными называются соединения, которые можно разобрать без разрушения элементов конструкции. К разъемным относятся резьбовые, клиновые, шлицевые, шомпольные и штифтовые соединения.

В конструкциях самолетов и вертолетов наиболее широко применяются резьбовые разъемные соединения. Различают болтовые, винтовые, шпилечные соединения, имеющие резьбу на элементах крепежа.

Из всех видов резьбовых соединений самое широкое применение в конструкциях планеров самолетов и вертолетов имеют болтовые соединения (БС). К этому виду соединения относятся также соединения с помощью болтов-заклепок.

Болтовые соединения используются для передачи больших нагрузок и для соединения пакетов больших толщин (рис. 16.1). В конструкциях современных самолетов количество болтов достигает 55 тыс. штук на легких машинах и 400 тыс. штук на тяжелых.

Чаще всего болты и гайки изготавливаются из стали 30ХГСА, 30ХГСНА, из титанового сплава ВТ16. Применение титановых болтов дает существенный выигрыш в массе по сравнению со стальным крепежом.

Около 80 % соединений выполняются болтами с потайной головкой, а остальные — с выступающей, главным образом, шестигранной головкой.

Технологический процесс выполнения болтового соединения складывается из: образования и обработки отверстия под болты, установки болта в отверстие, надевания шайбы, навинчивания и контровки гайки.

Около 70 % всей трудоемкости выполнения соединения расходуется на образование и обработку отверстий под болты. Эти операции выполняются ручным механизированным инструментом или в специализированных установках с программным управлением с помощью сверл, набора зенкеров (для отверстий больших размеров), разверток, протяжек.

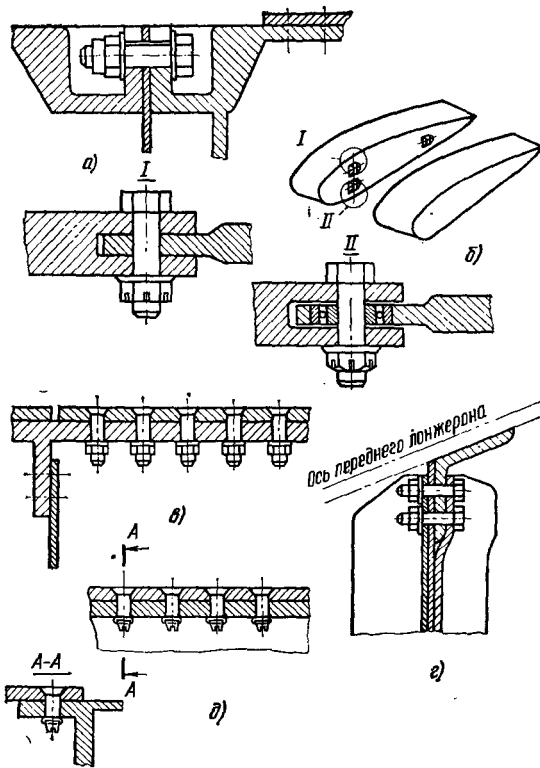
Постановка болтов по легкопрессовой и другим напряженным посадкам является особо трудоемкой операцией. Для уменьшения усилий запрессовки болтов применяют смазки ЦИАТИМ-201, петролатум и др.

Навинчивание гаек (затяжка БС) является весьма ответственной операцией. Величина затяжки целиком определяет работоспособность БС, работающих на растяжение, и в значительной мере качество соединений, работающих на срез.

Поэтому в особо ответственных соединениях усилия стягивания пакета лимитируются величиной крутящего момента затяжки и выполняются тарированными гаечными ключами.

Рис. 16.1. Типовые конструкции болтовых соединений:

а — фланцевый стык с закладным болтом; *б* — стык «ухо-вилка» крепления ОЧК с центропланом; *в* — крепление панели обшивки с каркасом потайными болтами; *г* — крепление стенки профиля с поясом лонжерона; *д* — крепление обшивки с каркасом потайными болтами с анкерными гайками



Трудоемкость выполнения БС в 10 ... 15 раз больше трудоемкости выполнения заклепочных соединений. Поэтому их применение может быть оправдано только в тех случаях, когда БС нельзя заменить менее трудоемкими видами соединений.

§ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫСОКОРЕСУРСНЫХ БС

Факторы, определяющие ресурс БС

Наиболее существенно влияющими факторами на ресурс являются:

- материал элементов конструкции и крепежа;
- геометрические параметры швов БС (расстояние от края листов и между болтами, число болтов в ряду и др.);
- режимы и способы образования и обработки отверстий под болты (скорость, величина подачи и глубина резания при сверлении, развертывании или протягивании отверстий);
- характер посадки болтов в отверстия (с зазором, средним по величине или большим радиальным натягом);
- величина затяжки болтов;
- интенсивность и условия эксплуатации, погодные и климатические условия.

Правильный учет всех факторов, выбор их оптимального соотношения позволяет получить высококачественные болтовые соединения.

Образование и обработка отверстий под болты

Отверстия под болты в конструкциях планера самолетов и вертолетов образуются сверлением с последующим развертыванием и протягиванием.

Сверление с применением кондукторных втулок обеспечивает получение отверстий по 10 ... 11 квалитетам точности с чистотой стенок отверстия: $Rz\ 40 - Rz\ 20$ в легированных сталях и $Rz\ 20 - Ra\ 2,0$ в алюминиевых сплавах.

Развертывание и протягивание с применением смазки дают отверстия по 6 ... 9 квалитетам точности с чистотой стенок $Rz\ 20 - Ra\ 0,5$ (развертывание), $Ra\ 2,0 - Ra\ 0,125$ (протягивание).

Изменение характеристик поверхностного слоя отверстий (шероховатости Ra , наклепа H_g и остаточных напряжений $\sigma_{ост}$) обуславливается в основном пластическими деформациями и температурами, возникающими в зоне резания.

Увеличение шероховатости существенно снижает выносливость конструкции (рис. 16.2). Особенно резко снижают выносливость риски от следов обработки, направление которых перпендикулярно направлению действия внешних усилий. В этом случае риска является концентратором напряжений и возможным местом начала разрушения.

Важным средством увеличения ресурса болтовых соединений является обработка отверстий под болты путем пластического деформирования поверхностных слоев: дорнованием или раскаткой (рис. 16.3).

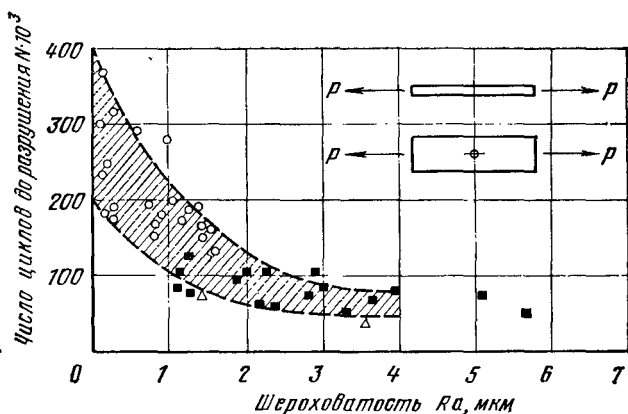


Рис. 16.2. Влияние шероховатости стенок отверстия на выносливость листов материала В95Т

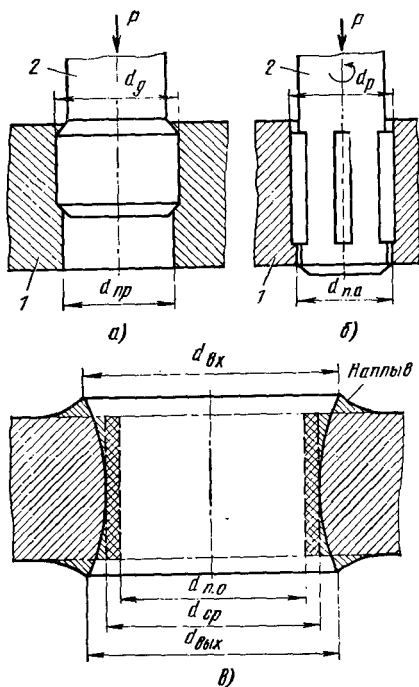


Рис. 16.3. Основные параметры процессов упрочнения отверстий под болты при:

a — дорновании; *1* — изделие, *2* — дорн;
б — раскатывании; *1* — изделие, *2* — раскатчик;
в — корсетность отверстий после раскатки

Основными параметрами процессов дорнования и раскатки, определяющими точность, чистоту стенок отверстия, а также степень повышения ресурса БС, является величина натяга при дорновании или раскатке (рис. 16.3, *a*, *б*).

В относительных величинах Δ , например, для раскатки, выражается отношением

$$\Delta_p = \frac{d_p - d_{п.о}}{d_{п.о}} \cdot 100\%, \quad (16.1)$$

где Δ_p — величина натяга в % при раскатке; d_p — диаметр рабочей части раскатника; $d_{п.о}$ — диаметр предварительного отверстия.

При заданной величине пластической деформации отверстия важной задачей технолога является определение $d_{п.о}$ и d_p . Они получаются из условия определения диаметра конечного отверстия заданного класса точности. Расчеты ведутся на основе контактной теории упругости.

$$d_p = d_{п.о} \left(1 + \frac{\delta}{100} \right); \quad (16.2)$$

$$d_{п.о} = \frac{d_{р.о}}{100 + \beta} \cdot 100, \quad (16.3)$$

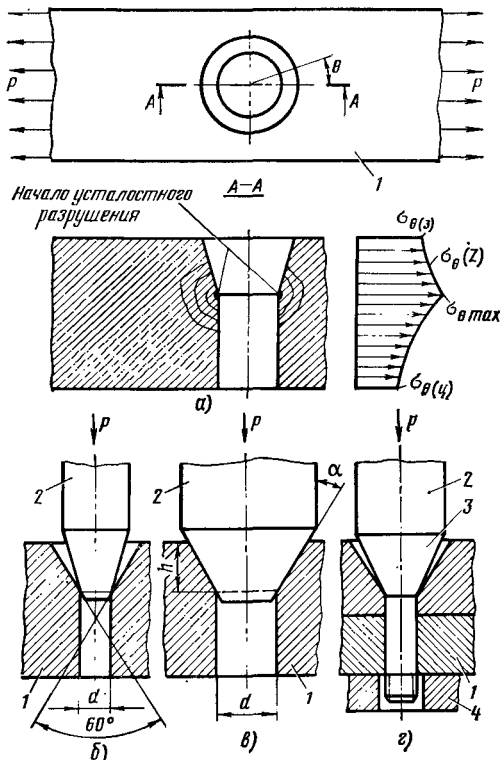
где $d_{р.о}$ — диаметр раскатанного отверстия; δ — суммарная упругая деформация раскатника и материала; $\beta = \Delta - \delta$ — относительный припуск на раскатку.

При раскатке отверстия теряют цилиндрическую форму. Его внутренние стенки приобретают форму, называемую корсетностью (рис. 16.3, *в*).

При этом резко возрастают контактные напряжения по средней части отверстия, потому что стержень болта контактируется только по гребню корсетности, а также между соединяемыми листами, так как наплыв возникающей при этом по краям отверстий мешает плотному контакту соединяемых элементов конструкции. Все это резко снижает усталостную прочность соединения. По-

Рис. 16.4. Способы упрочнения зенкованных отверстий под болты с потайной головкой:

a — схема распределения напряжений по толщине листа с зенкованным отверстием; 1 — схема нагружения; 2 — Эйлера окружных напряжений; *б* — обжатием переходной кромки; 1 — изделие, 2 — коническая обжимка; *в* — обжатием конической части отверстия; 1 — изделие, 2 — обжимка; *г* — подпрессовка болтом; 1 — изделие; 2 — пуансон; 3 — болт; 4 — подпор



этому отверстию после дорнования и раскатки дорабатываются путем снятия наплыва сверлом или цикловкой и калибровки отверстий после дорнования разверткой, а после раскатки — повторным проходом раскатника.

Упрочнение отверстий под болты дорнованием и раскаткой повышает ресурс БС в 2 ... 5 раз. Оптимальным является натяг в пределах (0,6 ... 1,2 %). Дорнование применяется при наличии двухстороннего (а раскатка — одностороннего) подхода к отверстию.

Наиболее нагруженной зоной в потайных БС является зона перехода конической части отверстия в цилиндрическую (рис. 16.4). Величина σ_{\max} окружных напряжений в этой зоне имеет наибольшее значение (рис. 16.4, *a*). Напряжения на кромке цилиндрической части отверстия $\sigma_{к.ц}$ существенно больше напряжений на кромке зенкованной части $\sigma_{к.з}$.

Повысить ресурс потайных БС можно путем обжатия переходной кромки (рис. 16.4, *б*) или конической части отверстия (рис. 16.4, *в*). Упрочнение цилиндрической части выполняется дорнованием и раскаткой по обычным схемам при несколько заниженных режимах по сравнению с полностью цилиндрическими отверстиями.

Оптимальное напряжение обжатия конических отверстий в алюминиевых сплавах $34 \dots 36 \cdot 10^5$ Па, а угол обжатия 60° . При этом ресурс БС увеличивается в 2 ... 2,5 раза.

Подпрессовка устанавливаемым в отверстие болтом всех элементов отверстия (рис. 16.4, *г*) по существу совмещает оба рассмотренных способа обжатия переходной кромки конической части отверстия. При этом крепеж (болт) выполняет роль обжимного

пуансона при установке болта по посадке C_3 и дорна при установке болта по легкопрессовой посадке.

Наибольшее увеличение ресурса БС достигается при напряжениях подпрессовки, равных $(40 \dots 50) \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$ (напряжения, отнесенные к единице поверхности конического гнезда).

Для создания усилий обжатия элементов отверстий и подпрессовки болтом могут быть использованы ручные скобы или стационарные прессы для клепки.

Большая эффективность рассмотренных способов упрочнения отверстий во всех случаях является следствием создания в поверхностном слое больших остаточных напряжений сжатия, его наклепа и повышения чистоты стенок отверстия.

Если отверстия не подвергаются упрочняющей обработке, то большое влияние на ресурс БС оказывают режимы и способы завершающей обработки отверстий.

Так, увеличение припусков на развертывание, снимаемых за последний проход, с 0,005 до 0,1 мм на сторону увеличивает прочность поверхностного слоя, величину остаточных напряжений сжатия, а в соответствии с этим и ресурс БС.

Для образования и обработки отверстий в пакетах, составленных из материалов разных марок (например, Д16Т + В95, Д16Т + 30ХГСА и др.) применяются ступенчатые сверла с двойными ($70 \dots 80^\circ$ и 120°) углами заточки.

Скорость v и величина подач при сверлении и развертывании отверстий в стеклопластиках меньше, чем при обработке конструкций из алюминиевых сплавов.

Применяется преимущественно алмазный инструмент и инструмент, оснащенный твердыми сплавами. Режущая часть инструмента (сверл, разверток) имеет увеличенные задние углы по сравнению с инструментом, используемым для резания металлов. Диаметр сверл и разверток берется несколько большим по сравнению с номинальным диаметром отверстия.

Образование отверстий с использованием ультразвуковых колебаний снижает износ инструмента, повышает производительность труда и чистоту стенок отверстий, предупреждает образование заусенцев и скалывание верхних слоев КМ.

Отверстия сверлят по направляющим отверстиям (НО) в металлических деталях (если они есть в пакете) или по накладному кондуктору.

Установка и затяжка болтов

Болты в отверстия устанавливаются по одной из посадок с зазором (X , C) или легкопрессовой посадке. Последнее время все шире применяется установка болтов с большой величиной натяга.

При установке болтов с большим натягом (рис. 16.5) в поверхностном слое отверстий создаются значительные напряжения сжатия. Кроме того, происходит наклеп поверхностного слоя. При нагружении БС переменными нагрузками высокие напряжения сжатия от натяга уменьшают концентрацию напряжения в зоне отверстия. При достаточно больших натягах высокие напря-

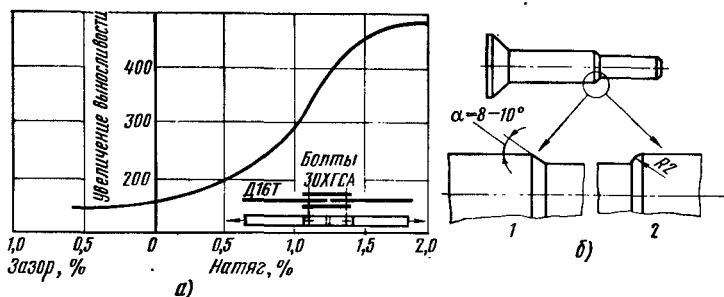


Рис. 16.5. Установка болтов с большим радиальным натягом:
 а — влияние характера посадки на выносливость БС; б — формы заходной части болта, устанавливаемого с большим натягом (1 — коническая; 2 — тороидальная)

жения сжатия препятствуют образованию переменных по знаку напряжений в зоне отверстия, которые особенно резко снижают усталостную прочность конструкции. По этим причинам установка болтов в отверстие с высоким натягом способствует существенному увеличению ресурса БС (рис. 16.5, а).

Наибольшее увеличение ресурса происходит при натягах (1,2 ... 1,5) % от диаметра болта.

Для уменьшения усилий запрессовки заходной части болта придается коническая или тороидальная форма (рис. 16.5, б).

Применение смазок также снижает требуемые усилия запрессовки. Наиболее эффективными смазками для установки болтов с большим натягом являются ЦИАТИМ-201 + 20 % дисульфида молибдена, фторопласт, петролатум.

Запрессовка болтов производится на стационарных прессах или с помощью ручных скоб и одноударных молотков достаточной мощности. В этих случаях болт перемещается в отверстии непрерывно до окончательной установки. Этим предупреждается схватывание («прилипание») болта к стенкам отверстия и образование задиrow в процессе запрессовки. Распределение принятой величины натяга между операциями упрочнения отверстий и постановки болта также обеспечивает снижение требуемых усилий запрессовки.

В конструкциях из КМ установка болтов в отверстия с большим натягом приводит к появлению больших окружных напряжений в зоне отверстий, к разрушению материала верхних слоев отверстий, а вследствие этого к резкому снижению усталостной прочности соединений.

Особенно ответственной операцией является затяжка болтов. В соединениях, работающих на растяжение болта, усилие от затяжки должно быть больше (с заданным запасом) внешних усилий, воспринимаемых данным элементом конструкции. В противном случае произойдет «раскрытие» стыка и разрушение конструкции.

В соединениях, в которых болт работает на срез, затяжка обеспечивает плотное прилегание всех соединяемых элементов и их равномерную работу при эксплуатации.

В соединениях, работающих на срез, усилие P , передаваемое через соединение, выражается уравнением

$$P = P_{oc} + P_{тр}, \quad (16.4)$$

где P_{oc} — часть общего усилия P , передаваемая через ослабленное сечение листа; $P_{тр}$ — часть общего усилия P , передаваемая силами трения по контактными поверхностям соединяемых элементов конструкции.

Усилие P_{oc} , передаваемое через ослабленное сечение листа, подсчитывается по формуле

$$P_{oc} = \gamma \sigma_b F_{oc}, \quad (16.5)$$

где γ — коэффициент, учитывающий снижение прочности соединения вследствие наличия концентрации напряжения по отверстию; значение $\gamma = 0,75 \dots 0,9$; F_{oc} — площадь ослабленного сечения; σ_b — предел прочности материала листа.

Силы трения $P_{тр}$ по контактными поверхностям можно определить по формуле

$$P_{тр} = Qfi, \quad (16.6)$$

где Q — усилие затяжки, действующее вдоль стержня болта (усилие сжатия пакета); f — коэффициент трения данной пары контактирующих материалов; i — число пар контактных поверхностей.

Из уравнения (16.4) видно, что увеличение $P_{тр}$ позволяет увеличить общее усилие, передаваемое через соединение, или уменьшить его долю, передаваемую через ослабленное сечение.

Увеличение затяжки до 0,6 ... 0,7 от предела текучести материала болта уменьшает концентрацию напряжений, задерживает возникновение и развитие фреттинг-коррозии по контактными поверхностям и вследствие этого существенно увеличивает усталостную прочность БС (рис. 16.6).

Вместе с тем следует иметь в виду, что увеличение затяжки резко повышает жесткость БС и конструкции в целом.

Для сохранения первоначальной величины затяжки во времени применяются кернение торцов стержня болта и гайки, специальные шайбы, шплинты и другие методы контроля. В соединениях из КМ с этой целью используются головки болтов, гаек, шайб с увеличенной опорной поверхностью.

БС с анкерными гайками составляют до 50 % потайных болтовых соединений.

Для повышения ресурса этих соединений проводится упрочняющая обработка конической части и переходной кромки отверстий методами, схемы выполнения которых показаны на

Рис. 16.6. Изменение усталостной прочности БС (листы из Д16Т, болты из 30ХГСА) в зависимости от величины затяжки:

1 — односрезовые соединения;
2 — двухсрезовые соединения

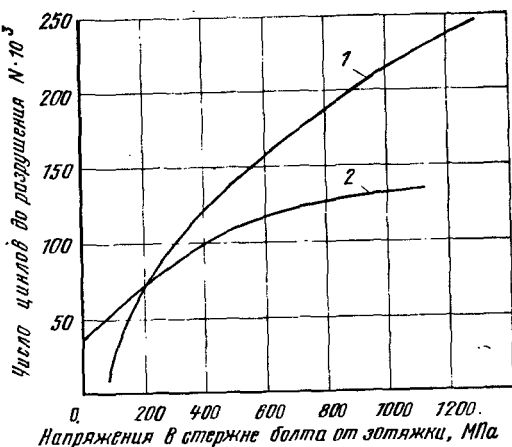


рис. 16.4, б, в и дорнованием и раскаткой цилиндрической части (см. рис. 16.3, а, б).

При наличии подходов для использования специального инструмента вместо болтов с гайкой рекомендуется применять болты-заклепки (рис. 16.7). Они состоят из двух деталей (рис. 16.7, а): стержня и обжимного кольца 1. Стержень имеет гладкий цилиндрический участок 2, равный по длине толщине пакета, средний участок 5 с накатанными на нем кольцевыми ребрами, проточку 6, по которой отрывается стержень при завершении обжатия кольца, и хвостовик 7

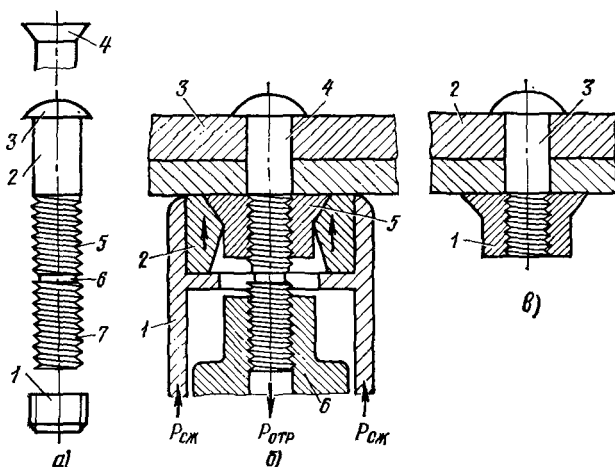


Рис. 16.7. Болт-заклепное соединение:

а — устройство болта-заклепки; 1 — обжимное кольцо, 2 — гладкий стержень, 3 — полукруглая головка; 4 — потайная головка, 5 — средний участок стержня, 6 — калиброванная проточка, 7 — хвостовик; б — схема установки болта-заклепки; 1 — корпус захватно-обжимного устройства; 2 — обжимные губки; 3 — соединяемый пакет; 4 — стержень болта-заклепки; 5 — обжимное кольцо; 6 — губки отрывного устройства; в — общий вид болта-заклепного соединения; 1 — обжимное кольцо, 2 — соединяемый пакет, 3 — стержень

с кольцевыми ребрами. За хвостовик происходит захват стержня прессом при натяжке до момента обрыва.

Стержни изготавливаются из алюминиевого сплава или стали. Обжимные кольца изготавливаются из алюминиевых сплавов или мягких сортов стали. Для конструкции из КМ болты-заклепки следует изготавливать с увеличенной опорной поверхностью головки, а под обжимное кольцо устанавливать опорную шайбу.

В готовое отверстие вставляется стержень 4 болта-заклепки. Затем на ее среднюю часть надевается обжимное кольцо и подводится пресс (рис. 16.7, б). При включении прессы корпус 1 захватно-обжимного устройства перемещается вверх, развивая усилия сжатия $P_{сж}$. Одновременно губки 6 отрывного устройства захватывают хвостовик стержня и с усилием $P_{отр}$ тянут его вниз. При этом происходит сжатие пакета 3, прижатие обжимного кольца к нижней кромке пакета и одновременное его обжатие по стержню болта-заклепки губками 2. При $P_{отр} = F_{пр} \sigma_B \gamma$ происходит обрыв хвостовика ($F_{пр}$ — площадь стержня болта-заклепки по наименьшему диаметру проточки; σ_B — предел прочности материала стержня; γ — коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие наличия концентратора). Общий вид выполненного болт-заклепочного соединения показан на рис. 16.7, в.

Затраты труда на выполнение болт-заклепочных соединений в 1,3 ... 2 раза меньше по сравнению с обычными БС.

Глава 17

СБОРКА ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

§ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ

Степень членения самолета и его агрегатов на детали и сборочные единицы зависит от особенностей конструкции самолета в целом (наличие монолитных панелей и узлов); габаритных размеров агрегатов и отсеков; материалов для изготовления входящих в конструкцию деталей; способов соединения деталей; программы выпуска и т. п. Рациональное членение конструкции самолета на отдельные узлы, панели, отсеки и агрегаты позволяет значительно упростить сборку и снизить трудоемкость сборочных работ за счет механизации и автоматизации сборочных операций. На основании схемы членения самолета и разработанной последовательности сборочных операций составляют схему сборки самолета (рис. 17.1).

На схеме сборки показано, что агрегат А собирают из деталей и отсеков I, II и III, а агрегат В собирают из деталей, узлов и панелей. Отсеки имеют различные варианты членения, следовательно, и схемы сборки. Отсек I собирают из панелей, узлов и деталей, отсек II собирают из панелей и деталей, а отсек III выполнен в виде непанелированной конструкции, его собирают из отдельных деталей.

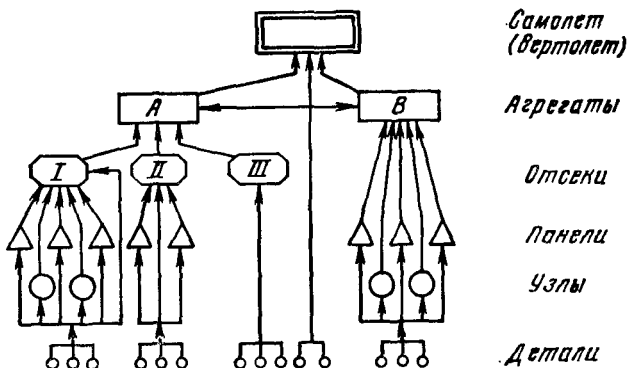


Рис. 17.1. Варианты членения и схема сборки самолета, вертолета

По конструктивно-технологическим признакам отсеки и агрегаты можно объединить в три группы:

отсеки и агрегаты непанелированной конструкции: изделия этой группы, как правило, собирают из отдельных деталей и небольших узлов. Сборка таких изделий требует сложных сборочных приспособлений, сокращает возможности расширения фронта работ, требует (при больших габаритных размерах агрегатов) громоздких, занимающих большие площади приспособлений;

отсеки и агрегаты панелированной конструкции, собираемые из панелей, узлов сборкой и монолитной конструкции (рис. 17.2, а). В этом случае конструкция сборочных приспособлений для отсеков и агрегатов проще, чем для изделий первой группы, кроме того, создаются возможности для расширения фронта работ и механизации процессов сборки;

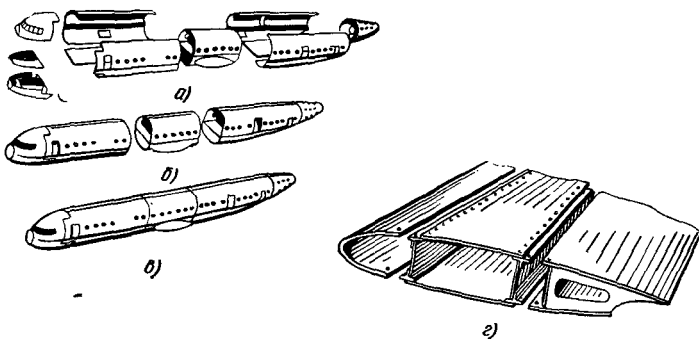


Рис. 17.2. Членение конструкций:

а — членение отсеков на панели; б — членение агрегата фюзеляжа на отсеки; в — вариант фюзеляжа; г — членение агрегата крыла на отсеки

агрегаты, члененные на отсеки. Агрегат собирается из предварительно собранных отсеков (рис. 17.2, б, в). В большинстве случаев такие отсеки поступают на сборку агрегата, когда в них выполнен весь комплекс сборочных, монтажных и регулировочно-испытательных работ. Процесс сборки агрегата теперь по существу представляет стыковку отсеков и соединение коммуникаций по стыкам и разъемам.

Прочность, аэродинамические свойства и герметичность собранных отсеков и агрегатов должны удовлетворять техническим требованиям. В эти общие требования включаются: точность расположения элементов отсеков и агрегатов относительно друг друга и базовых осей изделия; точность линейных и угловых параметров самолета в соответствии с пивелировочными данными; точность положения шасси, линии тяги и т. д.

В процессе и после сборки отсеков и агрегатов должно быть обеспечено требуемое взаимное расположение трубопроводов, электропроводов и тяг механической системы управления по стыкам отсеков и агрегатов.

Все перечисленные требования выполняются по методу зависящего изготовления изделий, при котором широко применяют различного вида жесткие носители форм и размеров изделий и их элементов.

Содержание технологических процессов и объем работ, выполняемых при сборке отсеков и агрегатов, определяется:

конструктивно-технологическими параметрами собираемых изделий;

масштабом производства, от которого зависит глубина проработки технологических процессов, оснащение производства специальным оборудованием и форма организации производства;

принятым методом обеспечения взаимозаменяемости и точности геометрических размеров деталей, панелей, узлов и отсеков.

К конструктивно-технологическим параметрам отсеков относятся (рис. 17.3):

а) поперечное сечение (профиль) отсека (может быть круглым, овальным, прямоугольным или эллиптическим);

б) форма обвода в плане [может быть цилиндрической, конусной и двойной кривизны (оживальной формы)];

в) наличие панелирования;

г) технология сборочных работ, зависящая от герметизации швов в отсеке;

д) вид стыков и разъемов при соединении отсека с другими отсеками;

е) подход в зону стыковых клепаных и сварных швов; он бывает двухсторонний и односторонний;

Удельный вес того или иного вида работ в общей трудоемкости процесса сборки зависит от конструкции агрегата и принятого метода соединения.

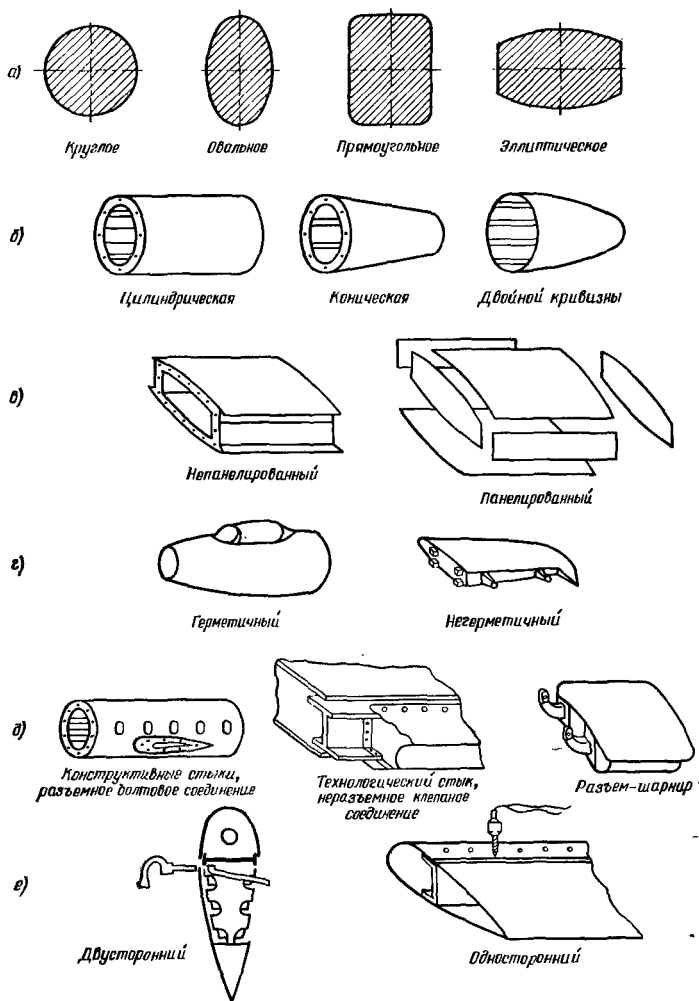


Рис. 17.3. Конструктивно-технологические параметры отсеков клепаной конструкции:

а — поперечное сечение отсека; б — форма обвода в плане; в — наличие панелирования; г — герметизация; д — стыки и разъемы; е — подход в зону клепаных швов

§ 2. СБОРКА ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ НЕПАНЕЛИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Сборка отсека или агрегата непанелированной конструкции производится в одном сборочном приспособлении и в определенной технологической последовательности. На сборку таких изделий поступают в основном отдельные детали и некоторые узлы.

Рассмотрим в качестве примера сборку и клепку тормозного щитка с базированием по ПК при образовании аэродинамических обводов (рис. 17.4).

1. Конструктивно-технологические особенности и схема базирования. Тормозной щиток состоит из следующих деталей и узлов: носка 1, лонжерона 2 с узлами навески и стойками 4, нервюр 5, нижней 6 и верхней 7 обшивок и законцовки профиля 8.

Детали и узлы щитка выполнены из материала Д16Т. Носок 1 и нижняя обшивка соединены с лонжероном и нервюрами заклепками ЗУ, верхняя обшивка заклепками с сердечником при одностороннем подходе в зону клепки. Профиль 8 соединен с обшивками заклепками ЗУ при двухсторонней потайной клепке. Точность по обводу со стороны нижней обшивки $\pm 0,5$ мм, а верхней $\pm 1,5$ мм на сторону.

В качестве баз приняты:

наружная поверхность обшивки III и поверхность лонжеронов 9 (ЛЖ) при установке носка 1. В продольном направлении носок базируют на базовую плиту 10 (БП);

ОСБ и поверхность фиксаторов 11 (ФП) при установке и закреплении лонжерона 2;

поверхность опор 16 (ОП), стоек 4 лонжерона 2 и рубильники 12 (РБ) при установке и закреплении нервюр 5;

поверхность каркаса ПК при установке обшивок 6, 7.

Носок, обшивки, профиль прижимают к базовой плите 10 (БП) прижимной плитой 14 (ПР).

2. Условия поставки деталей на сборку. Носок 1 подают на сборку с обрезанными кромками с НО по стыку с лонжероном. Лонжерон 2 поступает на сборку собранным с обрезанными торцами и установленными на нем узлами поворота щитка 3 и стойками 4 крепления нервюр. В стойках имеют НО. В узлах поворота имеются ОСБ. Нервюры 5 поступают отформованными с отверстиями облегчения. Обшивки 6, 7 и профиль 8 подают на сборку полностью обработанными. В обшивке 6 имеют НО для постановки всех заклепок кроме заклепок по профилю 8.

3. Схема сборки. Сборку щитка производят в специализированном переналаживаемом приспособлении типа ССП.

Сборку производят в следующей последовательности (см. схему сборки):

1) устанавливают носок 1 на ложементы 9 (ЛЖ) и упирают в плиту 10 (БП);

Схема базирования

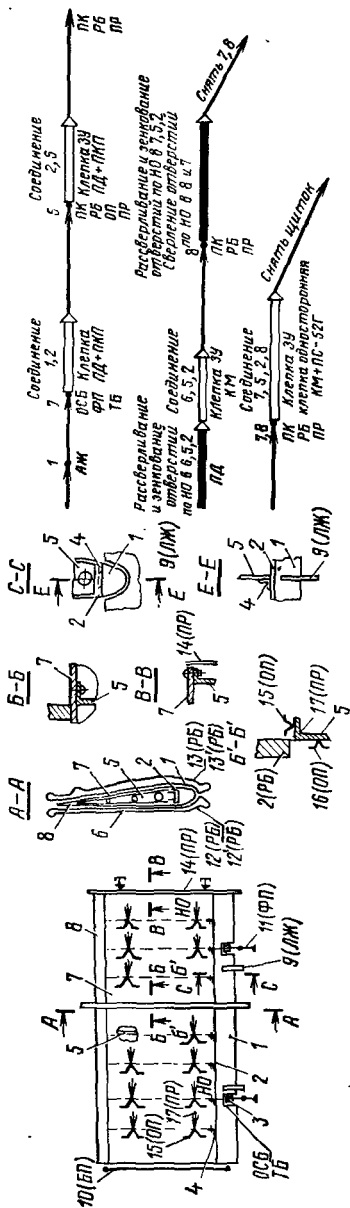
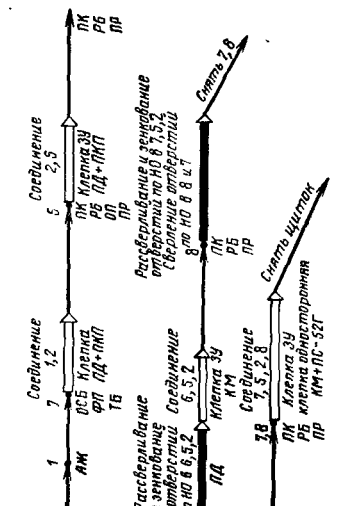


Схема сборки



Приспособление и его оснащение

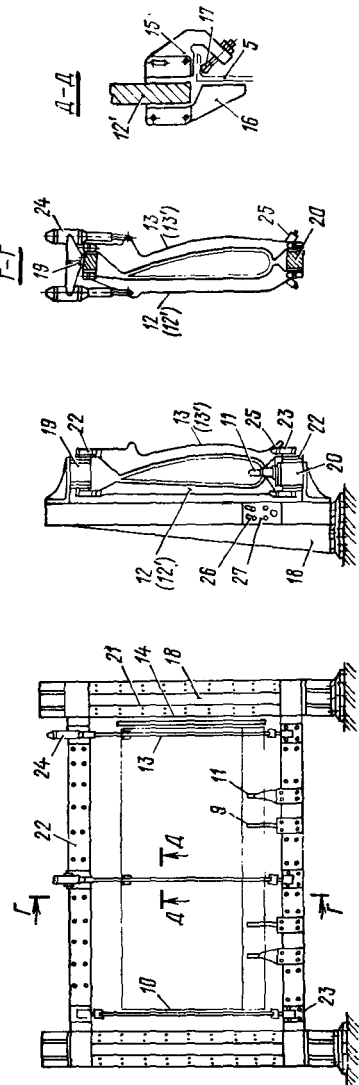


Рис. 17.4. Схема базирования, схема сборки и сборное приспособление для сборки тормозного щитка

2) устанавливают лонжерон 2 по ССБ в узлах поворота щитка и фиксаторах приспособления 11 (ФП);

3) подводят прижимную плиту 14 (ПР). По НО в обшивке носка сверлят и зенкуют отверстия по стыку носка с лонжероном. Соединяют носок с лонжероном заклепками ЗУ;

4) закрывают рубильники 12, 13 (РБ), устанавливают nervюры 5 и прижимают их к опорам 15, 16 (ОП) прижимами 17 (ПР);

5) по НО в стойках 4 лонжерона 2 сверлят отверстия в nervюрах 4. Соединяют лонжерон с nervюрами. Сверление и клепку выполняют пневмодрелями и переносными прессами;

6) открывают рубильники 12 (РБ) и отводят 14 (ПР). Устанавливают обшивку 6. Закрывают рубильники 12 (РБ) и подводят 14 (ПР). По НО в обшивке рассверливают и зенкуют отверстия в лонжероне и nervюрах. Соединяют обшивку с лонжероном и nervюрами;

7) открывают рубильники 13 (РБ) и отводят 14 (ПР). Устанавливают обшивку 7 и профиль 8. Закрывают рубильники 13 (РБ). По НО в обшивке рассверливают и зенкуют отверстия в nervюрах и лонжероне. По НО в обшивке 6 сверлят отверстия в профиле 8 и в обшивке 7. Открывают рубильники и отводят 14 (ПР). Снимают обшивку 6 и профиль 8. Очищают отсек от стружки;

8) вновь устанавливают обшивку 7 и профиль 8. Закрывают рубильники и подводят 14 (ПР). Соединяют обшивку 7 с каркасом заклепками с сердечником с помощью гидравлического и пневматического переносного пресса (ПС-52Г);

9) зенкуют отверстия в обшивках и профиле. Соединяют профиль с обшивками заклепками при двухсторонней потайной клепке;

10) открывают рубильники. Отводят прижимную плиту 14 (ПР). Снимают ТБ и отводят фиксаторы 11 (ФП). Снимают щиток с приспособления.

4. Приспособление и его оснащение. Приспособление переналаживаемого типа (ССП) состоит из колонн 18, балок 19, 20. На колоннах установлены базовые плиты колонн 21, на балках — базовые плиты 22. На базовых плитах 22 закреплены кронштейны 23, в которых фиксируют рубильники 12, 13, 12', 13'. Рубильники открывают и закрывают при помощи гидроподъемника 24 и фиксируются бесштыревыми зажимами 25. Управление подъемом рубильников и их фиксацией осуществляется крапами 26. На балках установлены ложементы 9, фиксаторы 11. На колонне установлена прижимная плита 14, перемещение которой осуществляется от плиты 27.

Описанный процесс сборки непанелированной конструкции отражает всю специфику такой сборки. Сборка подобных изделий характеризуется большим количеством операций, длительностью цикла, применением малопроизводительных ручных инструментов (при клепаной конструкции — пневматических дрелей и молотков,

а при сварной — ручных сварочных клещей). В связи с этим качество соединений получается невысоким, а трудоемкость сборочных работ большой. Этот метод сборки применяют при изготовлении в серийном производстве отдельных небольших отсеков самолета и при сборке изделий в опытном производстве.

§ 3. СБОРКА ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ ПАНЕЛИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Технологический процесс сборки отсека или агрегата панелированной конструкции по характеру и объему работ резко отличается от процесса сборки непанелированной конструкции. Сборка при панелированной конструкции состоит из установки узлов и панелей в сборочное положение и соединении их между собой в местах стыков.

В схеме технологического процесса сборки показана последовательность поступления деталей и сборочных единиц по этапам.

На рис. 17.5 показана конструкция носового отсека фюзеляжа, а на рис. 17.6 — схема ступенчатой сборки этого отсека. На сборку отсека, как это видно из схемы, поступают отдельные детали и собранные узлы и панели. Поступающие на сборку узлы и панели, полученные в процессе узловой сборки или выполненные в виде монолитных элементов, должны соответствовать техническим условиям на их поставку на рассматриваемый этап сборки. Панели и узлы должны быть полностью собраны (клеекой, сваркой или склеиванием), обработаны по периметрам (контурам) стыков, иметь, где это предусмотрено, направляющие отверстия и припуски по длине.

Сборку отсека как заключительный этап сборки производят в следующем порядке:

в приспособление по базовым поверхностям устанавливают и закрепляют шпангоуты 8 и 9 (рис. 17.6, б), затем устанавливают усиленные стрингеры 10, соединяя их со шпангоутами. Этой операцией заканчивается сборка каркаса;

на каркас как на сборочную базу устанавливают панели. На рис. 17.6, б показана постановка правой боковой панели. Сверлят отверстия по направляющим отверстиям в шпангоутах и усилен-

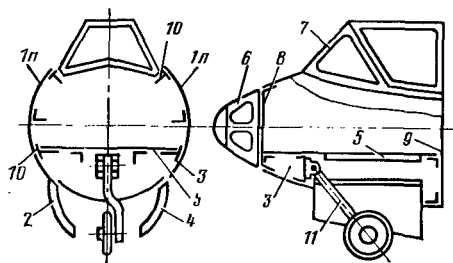


Рис. 17.5. Носовой отсек фюзеляжа:

1л и 1п — правая и левая панели отсека; 2, 4 — створки передней опоры; 3, 10 — усиленный стрингер; 5 — пол; 6 — каркас фонаря штурмана; 7 — каркас фонаря пилота; 8 — шпангоут № 6; 9 — стыковой шпангоут № 11, 11 — передняя стойка шасси

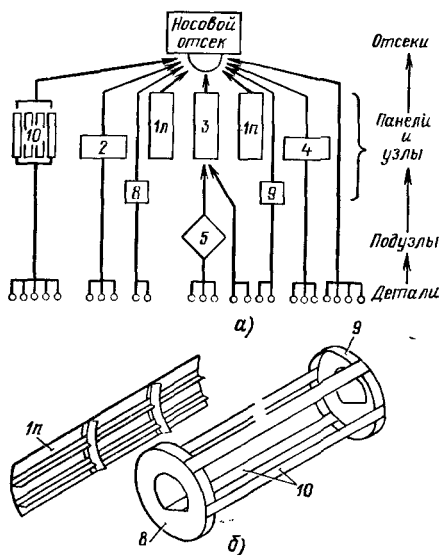


Рис. 17.6. Схема стальной сборки носового отсека фюзеляжа (см. позиции на рис. 17.5)

Преимущество панелированной конструкции очевидно. Так, например, сборка отсека непанелированной клепаной конструкции длиной 2 м и диаметром 0,8 м длится 12 рабочих смен, в то время как сборка этого же отсека при панелированном варианте длится всего 6 смен. Такое сокращение цикла достигнуто путем параллельной сборки панелей и узлов в специальных приспособлениях и применения механизированной клепки.

Эффективность процесса сборки панелированной конструкции можно также оценить в условных единицах, отнеся затраченное на сборку время к 1 кг массы конструкции, по отношению

$$C_{II} = \frac{T_{II}}{Q_{II}}; \quad C_{II} = \frac{T_{II}}{Q_{II}}, \quad (17.1)$$

где C_{II} , C_{II} — затраты времени на сборку панелированной и непанелированной конструкции, ч/кг; T_{II} , T_{II} — трудоемкость сборки панелированной и непанелированной конструкции, ч; Q_{II} , Q_{II} — масса панелированной и непанелированной конструкции, кг.

Так, например, если трудоемкость сборки отсека крыла массой 470 кг при панелированной конструкции составляет 200 нормо-ч, а трудоемкость сборки того же крыла, но при непанелированной конструкции 845 нормо-ч, то из соотношений (17.1) получим $C_{II} = 0,43$ и $C_{II} = 1,8$ ч/кг. Таким образом, в рассмотренном примере трудоемкость сборки 1 кг массы непанелированной конструкции в 4 раза превышает трудоемкость сборки панелирован-

ной. Преимущества панелированной конструкции перед непанелированной во многом зависит от годовой программы выпуска изделий и общего объема производства.

Организационные формы сборки предусматривают выполнение всего комплекса работ по сборке отсека или агрегата и монтажу оборудования, приборов и систем. При сборке отсеков и агрегатов различают два этапа: сборку в стапеле и сборку-монтаж вне стапеля (внестапельная сборка). Примерами стапельной сборки являются процессы сборки тормозного щитка (см. рис. 17.4), отсека фюзеляжа (см. рис. 17.6).

Внестапельная сборка предусматривает установку по чертежам жестких узлов, съемных панелей и деталей, которые для сохранения своей формы и положения не требуют сборочного приспособления. На внестапельной сборке, кроме того, производится доработка соединений, т. е. постановка заклепок и болтов, к которым затруднены подходы, монтаж и установка механизмов, приборов, оборудования и коммуникаций, электрических, гидравлических и пневматических систем.

Внестапельная сборка также ведется по заранее разработанному технологическому процессу, в котором указываются оборудование, оснастка, инструмент и нормы времени на выполнение отдельных видов работ.

Стапельные и внестапельные работы при сборке отсеков и агрегатов могут быть организованы по поточному методу и без применения потока.

Поточный метод сборки предусматривает строгое распределение работ между отдельными участками, подачу скомплектованных узлов, панелей и деталей и установление ритма сборки. Этот метод позволяет значительно сократить общий цикл сборки и трудоемкость работ в сравнении с методом сборки без применения потока.

На рис. 17.7 приведена организационная схема сборки герметического отсека Ф-1, в которой указан порядок поступления деталей, узлов и панелей на общую сборку. Из схемы видно, что на общую сборку поступают панели и узлы, собранные в своих приспособлениях, а также отдельные детали.

При поточной организации работ стапели для сборки отсека и стенды (рабочие места) для внестапельной сборки располагаются по ходу технологического процесса, как это показано на рис. 17.7. Важнейшим условием, при котором достигается заданный ритм поточной сборки, является своевременная подача на сборку панелей, узлов и деталей. Поэтому процессы сборки панелей и узлов по ритму должны быть увязаны с ритмом сборки отсека, а это возможно только при организации потока на сборке узлов и панелей.

Поступающие на стапель общей сборки отсека детали, узлы панели должны устанавливаться и соединяться в определенной последовательности, указанной в заданиях для сборщика и ком-

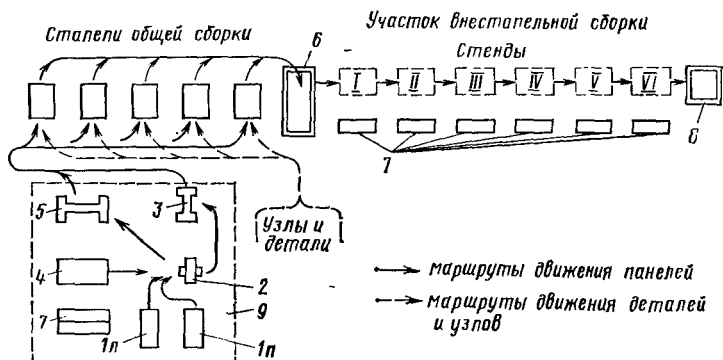


Рис. 17.7. Схема размещения оборудования, сборочных приспособлений и стенов при поточной организации сборки отсека фюзеляжа:

1л и 1п — стапели (приспособления) сборки левой и правой боковых панелей; 2 — пресс для клепки; 3 — верстак для доработки боковых панелей; 4 — стапель сборки нижней панели; 5 — верстак для доработки нижней панели; 6 — разделочный стенд для разделки отверстий узлов шасси; 7 — комплекточные верстаки; 8 — приспособление — стенд для испытания герметичности секций; 9 — участок панельной сборки

плектовщика. Задание рабочему-сборщику оформляют в документе, называемом «объединение». Такие задания-объединения составляют по отдельным этапам сборки; в них указывают содержание и последовательность выполнения отдельных видов работ.

Количество стенов на участке внеступельных работ определяют исходя из трудоемкости этих работ, заданного ритма сборки и возможного количества рабочих на стенде по формуле

$$K = \frac{H}{R\chi\eta}, \quad (17.2)$$

где K — количество стенов; H — трудоемкость внеступельной сборки отсека, ч; R — ритм сборки, ч; χ — среднее число рабочих, одновременно работающих на стендах; η — коэффициент загрузки рабочих мест ($\eta = 0,9 \dots 0,95$).

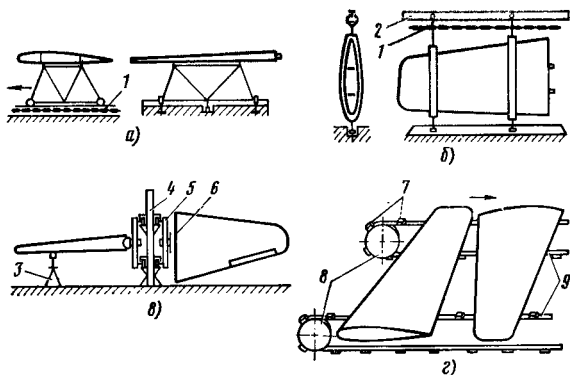
Содержание работ по стендовым заданиям устанавливают на основе подробно разработанного технологического процесса сборки, исходя из последовательности операции сборки и специализации рабочих. Стеновые задания оформляются в виде технологических карт стеновой сборки.

Поточная организация при сборке отсеков и агрегатов требует, чтобы все рабочие, контрольные и транспортные операции производились в течение установленного времени.

При компоновке стеновых заданий для стапельной и внеступельной сборки разрабатывают цикловые графики. Такие графики позволяют получить наглядное представление о содержании работ на каждом стенде, о последовательности выполнения отдельных монтажей, об использовании фронта работ.

Рис. 17.8. Схема конвейеров, применяемых при сборке агрегатов (крыльев):

а — телажечный, *б* — подвесной, *в* — эстакадный, *г* — цепной; 1 — цепь конвейера; 2 — монорельс; 3 — козлук; 4 — эстакада; 5 — тележка; 6 — поворотная траверса; 7 — мягкие опоры для крыльев; 8 — цепные звездочки; 9 — цепи



Трудоемкость и цикл работ по сборке и монтажу отсеков и агрегатов во многом зависит от конструкции приспособлений и конвейеров, применяемых на стапельной и внестапельной сборке.

Конвейеры, применяемые при поточной внестапельной сборке крыльев, разделяются на две группы: напольные и подвесные. Напольные конвейеры — телажечный и цепной (рис. 17.8, *а*, *г*) — менее удобны в работе, так как занимают большую площадь и затрудняют подходы к местам выполнения работ. Подвесные конвейеры — монорельсовые и эстакадные (рис. 17.8, *б*, *в*) — более удобны в работе. При подвесных конвейерах лучше используются производственные площади, возможен поворот изделий в удобное для сборщика положение, монтировать детали могут несколько сборщиков на разных уровнях от пола. Этим сокращается число стенов сборочной линии и сокращается цикл сборки.

При разработке технологии поточной сборки отсеков или агрегатов необходимо на основании технико-экономических расчетов установить, какой тип конвейера наиболее выгодно применять для рассматриваемой конструкции. В то же время следует иметь в виду, что для сборки отсеков, агрегатов или изделий в целом независимо от программы выпуска в серийном производстве поточная организация работ выгоднее, чем операционная сборка, при которой технологическая оснастка и оборудование не установлены по ходу технологического процесса и циклы проводимых на нем работ не согласованы.

После сборки отсека или агрегата фактические размеры, определяющие положение стыковых узлов и отверстий под стыковые болты, выходят за пределы допусков. Это происходит вследствие возникновения различного вида производственных погрешностей и деформаций сборочных приспособлений и собираемых изделий.

Для обеспечения взаимозаменяемости отсеков и агрегатов после их сборки производят обработку разъемов и стыков в специальных разделочных стендах.

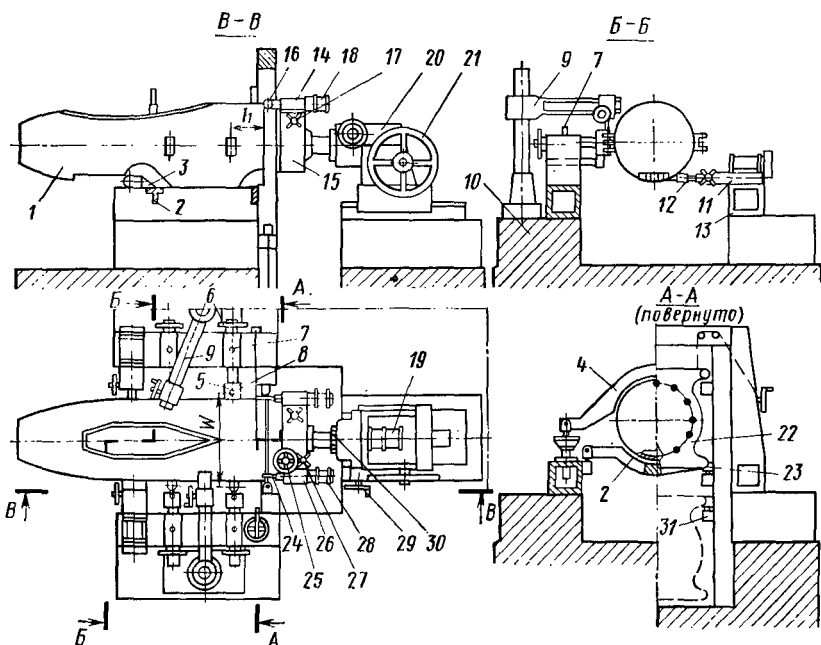


Рис. 17.9. Разделочный стенд для обработки узлов разъема и стыка носового отсека фюзеляжа:

1 — носок фюзеляжа; 2 — ложемент; 3, 7 — фиксатор; 4 — прижим; 5 — кондукторная головка; 6 — маховичок; 8 — кондукторная втулка; 9 — радиально-сверлильный станок; 10 — фундамент; 11, 14, 26 — агрегатные головки; 12, 24 — инструмент (зенкер, развертка); 13 — балка; 15 — траверса; 16 — фреза; 17, 21, 25, 27, 29 — рукоятки и штурвалы управления; 18, 19, 28 — электродвигатели; 20 — тумба; 22 — литая разделочного стенда; 23 — вилка; 30 — лимб; 31 — кронштейн

Разделочный стенд в общем виде представляет собой пространственную конструкцию, которая состоит из базирующих элементов для установки и закрепления изделия, кондукторов (плит разделочных стендов — ПРС) и металлообрабатывающих станков.

В самолето- и вертолетостроении применяют специальные и универсальные разделочные стенды, специальный стенд предназначен для обработки одного конкретного типоразмера отсека или агрегата; универсальный стенд — для обработки однотипных групп отсеков и агрегатов. При переходе с обработки одного типоразмера отсека на другой производят не полный демонтаж стенда, а только его переналадку. В специальном разделочном стенде, показанном на рис. 17.9, можно обрабатывать отверстия под стыковые болты в узле крепления стойки передней опоры, в узлах стыка фюзеляжа с крылом и в стыковом шпангоуте, а также и привалочную плоскость стыкового шпангоута носового отсека фюзеляжа. Собранный отсек устанавливается на ложементы разделочного стенда, выравнивается и фиксируется штифтами и прижимными рублильниками. После установки и закрепле-

ния отсека в разделочном стенде устанавливаются в рабочее положение плита стыка, кондукторные и агрегатные головки. Например, кондукторные головки 5 устанавливаются маховиком 6 в такое положение, чтобы был выдержан заданный размер W . Отверстия ОСБ в узлах отсека зенкеруются и развертываются через отверстия в кондукторной втулке при помощи универсальных радиально-сверлильных станков 9. Оба стыковых узла полукрыльев, расположенных по обе стороны фюзеляжа, обрабатываются одновременно. Зенкерование и развертывание отверстия в узле крепления передней опоры производится сменными инструментами 12 при помощи агрегатной головки 11.

Торец стыкового шпангоута обрабатывается при помощи фрезерной агрегатной головки 14, фреза которой 16 устанавливается на размер h рукояткой 17. Вращение фрезы осуществляется от электродвигателя 18, а перемещение головки по окружности — вращением траверсы от электродвигателя 19.

По окончании обработки головка с траверсой и тумбой 20 отводится от отсека штурвалом 21.

Отверстия ОСБ в шпангоуте обрабатываются зенкером и разверткой через плиту разделочного стенда 22. При обработке инструмент центрируется относительно отверстия в плите при помощи штурвала 25 в радиальном направлении и рукояткой 27 вдоль оси головки. Вращением рукоятки 29 траверса 15 вместе со сверлильной головкой 26 поворачивается вокруг своей оси. Угол поворота траверсы определяют по лимбу 30.

При обработке отверстия тумба и траверса закрепляются, инструмент вращается от электродвигателя 28. После обработки всех отверстий по окружности стыка тумба с головками отводится в исходное положение, а плита разделочного стенда опускается вниз и закрепляется на кронштейнах 31. Освободив фиксаторы, отводят в исходное положение кондукторные головки 5, далее, освободив прижимные рубильники, краном вынимают отсек из разделочного стенда.

Обработка отверстий и пазов в разъемах и стыках производится за несколько переходов, число которых зависит от марки материала, из которых изготовлен узел стыка, и требуемой точности при образовании отверстий и пазов.

Практика применения разделочных стендов показала, что отсеки и агрегаты, обработанные в стендах, являются взаимозаменяемыми и стыковка таких агрегатов сводится только к операциям, связанным с установкой стыковых болтов, соединением коммуникаций систем и регулированием тяг управления, проходящих в зоне стыка или разъема.

§ 4. СБОРКА АГРЕГАТОВ ИЗ ОТСЕКОВ

Агрегаты на отсеки разделяются по конструктивно-эксплуатационным и технологическим стыкам. Технологические стыки выполняются при помощи клепки или сварки (неразъемные соеди-

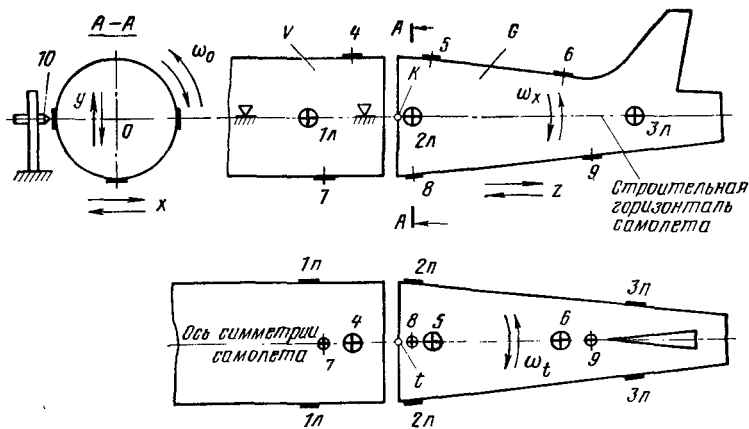


Рис. 17.10. Принцип работы стыковочного стенда:

1...6 — нивелировочные точки; 7, 8, 9 — установочные базовые отверстия (УБО); 10 — пиноль для контроля положения нивелировочной точки

нения), а конструктивно-эксплуатационные стыки — при помощи болтов.

Метод соединения отсеков при сборке их в агрегат влияет на технологический процесс сборочных работ и на конструкцию сборочных приспособлений и стыковочных стендов. Конструкция стыковочного стенда должна обеспечивать установку стыкуемых отсеков и точное совмещение базовых поверхностей стыков.

На рис. 17.10 показан принцип работы стыковочного стенда. Стыкуемые отсеки *V* и *G* располагают вдоль оси симметрии и строительной горизонтали самолета. Отсек *V* закрепляют на стенде неподвижно, а отсек *G* имеет возможность перемещаться относительно отсека *V*.

Установку отсеков в стенд можно выполнять в нескольких вариантах, т. е. путем установки отсеков по обводам на ложементы стенда и координацию их по УБО или закрепления отсеков за стыковочные узлы (стабилизатора, киля, шасси), которые в данной операции стыковки не участвуют.

В процессе стыковки отсек *G* подводят к отсеку *V* в направлении стрелки *z*. Поворачивают отсек в направлении стрелок ω_0 , ω_x , ω_r , добиваясь такого положения, при котором нивелировочные точки 1, 2 и 3 будут находиться на линии строительной горизонтали, а нивелировочные точки 4, 5 и 6 — на оси симметрии самолета (см. рис. 17.10), совмещают базовые поверхности отсеков (торцы, пазы, проточки, ОСБ), вставляют болты в отверстия стыковых болтов (ОСБ) и наворачивают гайки.

На рис. 17.11 приведена конструкция универсального стыковочного стенда для стыковки центроплана (*V*) с отъемной частью крыла (*G*). Соединение крыла и центроплана можно выполнять

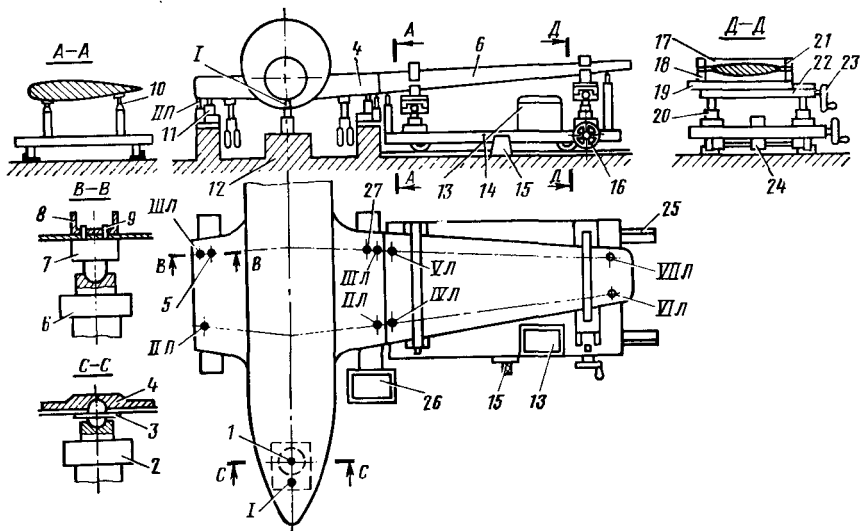


Рис. 17.11. Стенд для стыковки отъемной части крыла (G) с центропланом (V): I, II, III, IV, VII — нивелировочные точки правые (П) и левые (Л); 1, 5, 27 — опорные узлы фюзеляжей и центроплана; 2, 6 — шток гидроподъемника; 3 — шаровая подкладка; 4 — силовой шпангоут; 7 — опора; 8 — задний лонжерон центроплана; 9 — штырь; 10 — пинноль; 11, 2С — гидроподъемник; 12 — фундамент; 13 — насосная станция и пульт управления работой гидроподъемников, установленных на тележке; 14 — тележка; 15 — фиксатор; 16 — штурвал ручного перемещения тележки в продольном направлении; 17 — прижим; 18 — ложемент; 19 — суппорт; 21 — крепление прижима; 22 — каретка суппорта; 23 — рукоятка для перемещения крыла в поперечном направлении; 24 — привод для перемещения каретки в продольном направлении (от электромотора); 25 — рельсовый путь; 26 — насосная станция и пульт управления работой гидроподъемников при установке центроплана в линию полета

в виде фланцевого, телескопического или вильчатого стыка. Телескопический стык может быть конструктивным или технологическим.

На стыковку поступают: центроплан, соединенный с фюзеляжем, фюзеляж на собственных шасси (при стыковке средних и тяжелых самолетов) или на конвейерной тележке с последующей установкой в стенд с помощью подъемного крана.

В центроплане и фюзеляже обработаны опорные узлы 1, 5, 27 и нанесены нивелировочные точки I, II, III с правой и левой сторон.

Узел стыка центроплана обработан в разделочном стенде и подготовлен для стыковки.

Фюзеляж вводят в стыковочный стенд, устанавливают на гидроподъемник и опоры 5 и 27 и шаровую прокладку 3. Включают с пульта 26 в работу насосную станцию и гидроподъемники под опорными узлами фюзеляжа, поднимают фюзеляж с центропланом и устанавливают их в линию полета. Положение линии полета определяют по показаниям на пульте 26 датчиков от пиннолей, установленных под нивелировочными точками I, II, III с правой и левой сторон. После установки фюзеляжа и центро-

плана в линию полета подводят под фюзеляж хвостовую опору (на рис. 17.11 не показана), а подъемники фиксируют штырями. Отъемная часть крыла поступает на стыковку с обработанным стыком и нанесенными нивелировочными точками. Крыло устанавливают на ложементы 18, так чтобы пиноли находились под нивелировочными точками, и закрепляют прижимами 17. Устанавливают крыло в линию полета по показаниям на пульте 13 датчиков от пинолей, установленных под нивелировочными точками IV, V, VI, VII левой стороны. Подводят крыло вместе с тележкой в зоне стыковки и регулируют вручную рукоятками 23 и штурвалом 16 положение крыла до совмещения базовых поверхностей стыка.

При совмещении базовых поверхностей вставляют в ОСБ стыковые болты и соединяют крыло с центропланом.

В случае технологического стыка производят клепку или сварку. После соединения крыла с центропланом освобождают прижимы 17, опускают ложементы вниз и отводят тележку из зоны стыка.

В таком же порядке производят стыковку правого крыла. Выполнив стыковочные работы, фюзеляж опускают на шасси и выводят из стыковочного стенда.

§ 5. КОНТРОЛЬ ОБВОДОВ АГРЕГАТОВ

При современных высоких скоростях полета к обтекаемым воздушным потоком поверхностям предъявляются высокие требования, поэтому отклонения обводов агрегатов от теоретических обводов ограничены очень небольшими допусками. В связи с этим предъявляются высокие требования и в отношении точности изготовления деталей, сборочной оснастки, контрольно-измерительных приборов и методов измерения. При плазово-шаблонном методе производства криволинейные поверхности агрегата задаются обычно контурами нескольких его сечений, вычерчиваемых на плазе. Контроль обводов таких поверхностей заключается в сравнении воспроизведенных контуров сечений с эталонными. Эталонным контуром может быть шаблон, теоретическая таблица координат линии контура сечения или формула, определяющая линию контура в аналитической форме.

Для определения отклонений полученного обвода от эталонного существует несколько методов, например, замеры по обводам рубильников сборочного приспособления, по эквидистантным контршаблонам в контрольно-измерительных приспособлениях, по реперным точкам при нивелировке и др.

Примером приведения первого из этих методов может служить определение отклонения обвода агрегата от обвода рубильника при помощи копического щупа (рис. 17.12). Для замера в каком-либо месте отклонения обвода необходимо в этом месте между рубильником 2 и агрегатом 3 ввести щуп 1 и определить размер

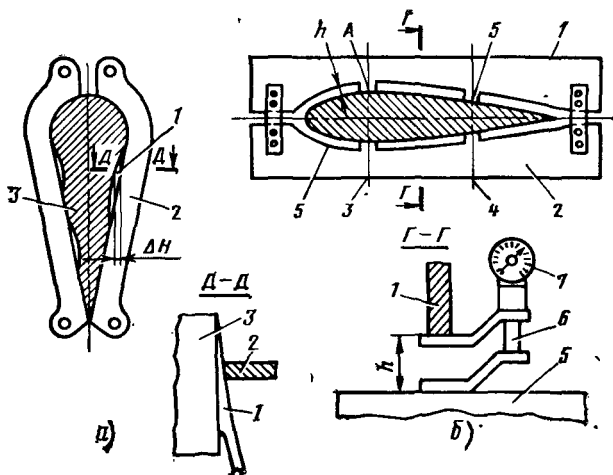


Рис. 17.12. Схемы различных методов контроля обводов агрегата:

а — контроль обводов в сборочном приспособлении (1 — щуп, 2 — рубильник, 3 — агрегат); *б* — контроль обводов по эквидистантным шаблонам (1 и 2 — шаблон ШЭК; 3 и 4 — установочная база; 5 — агрегат; 6 — прибор; 7 — индикаторная головка)

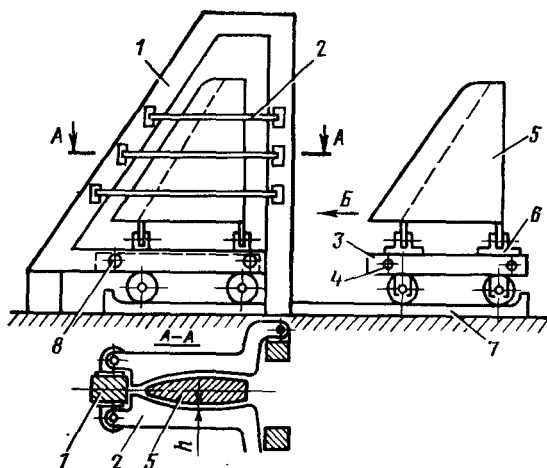
ΔH . Контроль обвода таким образом весьма прост и не требует специальной оснастки, но он дает малую точность, так как замеры производятся на агрегате зажатом рубильником, а не в свободном его состоянии. Обычно обводы агрегата после освобождения его из сборочного приспособления и снятия давления рубильников несколько изменяются, и этим объясняются неточности при измерении отклонений обводов в сборочном приспособлении.

Такой метод применяют при контроле обводов агрегатов вертолета, для которых получаемая точность измерений не превышает установленных допусков. При изготовлении высокоскоростных самолетов этим методом можно пользоваться только для определения местных отклонений в виде вмятин, углублений обшивки в месте постановки заклепок и т. д.

При контроле обводов эквидистантными контршаблонами за базу для установки контршаблонов 1 и 2 принимают поверхности агрегата. Чаще всего в качестве таких опорных поверхностей принимают поверхности 3 и 4, проходящие через оси лонжеронов 3 и 4 (рис. 17.12, б). Эквидистантные контршаблоны выполняются с одинаковым по всей его поверхности зазором $h = 5$ или 20 мм относительно измеряемого обвода агрегата 5. При малых величинах зазора отклонения измеряемого обвода от обвода шаблона измеряются коническим щупом, а при больших — специальным прибором 6 и индикаторной головкой 7. Перед измерением этот прибор устанавливают на нуль с учетом зазора h . В процессе контроля прибор показывает абсолютную величину отклонений обвода агрегата от обвода контршаблона.

Рис. 17.13. Контрольно-измерительное приспособление для контроля обводов кия:

1 — каркас; 2 — шаблон;
3 — тележка; 4 — отверстия;
5 — киль; 6 — узлы стыка;
7 — рельсы; 8 — штырь



Этот метод контроля обводов значительно точнее контроля в стапеле, но и он обладает рядом недостатков. Одним из недостатков метода контроля воспроизведенных обводов агрегата по эквидистантным контршаблонам является влияние погрешностей на результаты замеров всего обвода. Так, например, если опорные площадки, проходящие через оси лонжеронов 3 и 4, будут подняты или опущены относительно требуемого положения на какую-то величину, то эта погрешность сразу изменит величину эквидистантного зазора h . Не менее неприятным будет случай, когда опорная площадка в точке 3 будет поднята, а в точке 4 опущена на какую-то величину. В этом случае контршаблон окажется повернутым относительно оси симметрии агрегата, и при измерении зазора h обнаружится завал носка профиля, в то время как в действительности его нет.

Другим существенным недостатком этого метода является то, что обводы проверяют только в плоскости расположения контршаблонов в каждом отдельном сечении, причем не может быть проверено положение обвода одного сечения относительно другого. При этом методе определить наличие закрутки крыла или лопасти несущего винта вертолета, а также положение обводов относительно стыков невозможно.

Наиболее совершенным методом контроля обводов агрегата является измерение отклонений обводов при помощи контрольно-измерительных приспособлений. В таком приспособлении контролируемый агрегат устанавливается так, как он устанавливается и закрепляется на самолете.

Контрольно-измерительное приспособление (рис. 17.13) состоит из каркаса 1, эквидистантных шаблонов 2, напоминающих рубильники, и тележки 3. На раме тележки имеются отверстия 4 (по два с каждой стороны) для фиксации ее в приспособлении.

Контролируемый киль 5 устанавливается и закрепляется на тележке 3 узлами 6, которые имитируют соответствующие стыковые узлы фюзеляжа самолета. Тележка 3 вместе с килем вводится по рельсам 6 в каркас приспособления и фиксируется в нем в требуемом положении штырями 8, вводимыми в отверстия 4.

После установки кия в контрольно-измерительном приспособлении определяют отклонения обводов кия от обводов эквидистантных шаблонов. Контроль обводов агрегата осуществляется измерениями его обвода от обводов эквидистантных шаблонов прибором, приведенным на рис. 17.12, б.

Контрольно-измерительное приспособление позволяет измерять отклонения обводов с точностью до 0,1 мм и определять направление и величину общей закрутки агрегата (кия, лопасти несущего винта).

Глава 18

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В конструкциях самолетов и вертолетов во все возрастающих масштабах применяются волокнистые композиционные материалы. Они состоят из химически разнородных компонентов, образующих монолит, — упрочнителей в виде волокон различных материалов и связующих в виде полимеров или металлов с четко выраженной границей их раздела.

В настоящее время для армирования полимеров используются стеклянные, углеродные, борные и органические волокна, а для армирования металлов и сплавов — борные, углеродные волокна, проволока из стали, вольфрамовых и молибденовых сплавов, а также непрерывные волокна и нитевидные кристаллы из керамических материалов (окислов, карбидов, нитридов, боридов и др.) (табл. 18.1).

В производстве отсеков и агрегатов ЛА используются следующие армирующие материалы на основе соответствующих волокон.

Нетканые: первичная нить (непосредственно); первичная нить в несколько сложений (ровинг); крученая или некрученая нить в виде однонаправленной ленты с предварительно нанесенным связующим; рулонные нетканые материалы из непрерывных или рубленых волокон (холсты);

Свойства волокон и проволоки для армирования композиционных материалов

Материалы	Температура плавления, °С	Объемная масса, г/см ³	σ_B	E
			10МПа	
<i>Волокно</i>				
Стеклянное	950	2,5	240 ... 350	9 000
Органическое		1,45	280	13 000
Углеродное:				
высокопрочное	3650	2,0	250 ... 320	22 000
высокомодульное			140 ... 220	35 000 ... 55 000
Борное	2300	2,63	250 ... 350	38 000 ... 42 000
Карбида кремния	2827	3,21	200 ... 400	46 000
Окиси алюминия	2054	3,96	210 ... 260	50 000
Двуокиси циркония	2677	6,27	240 ... 270	47 000
<i>Проволока</i>				
Бериллиевая	1284	1,84	100 ... 130	29 000
Вольфрамовая	3400	19,3	420	40 000
Титановая	1668	4,5	150 ... 200	12 000
Стальная	1400	7,8	360 ... 400	20 000
<i>Нитевидные кристаллы</i>				
Окиси алюминия	2054	3,96	2800	50 000
Карбида кремния	2650	3,21	3700	58 000
Нитрида кремния	1900	3,18	1500	49 500

Ткани трех основных переплетений: полотняного или гарнитурового, когда продольные нити (основа) чередуются равномерно с поперечными (утком); сатинового, характеризуемого меньшим числом перекрытий основы нитями утка; саржевого, характеризуемого диагональным расположением перекрытия нитей.

Податливая матрица, заполняющая межволоконное пространство, передает напряжения отдельным волокнам и воспринимает напряжения, действующие в направлении, отличном от ориентации волокон.

Свойства матрицы определяют, как правило, уровень рабочих температур композиционного материала, характер изменения его свойств при воздействии температуры, атмосферных и других факторов, режимы получения и переработки материалов. В качестве матриц используют полимеры, металлы и сплавы, а в некоторых специальных случаях тугоплавкие соединения, керамику и пироуглерод.

Из полимерных матриц для силовых конструкций наибольшее применение находят связующие на основе эпоксидных смол, которые обладают высокой адгезией к армирующим волокнам,

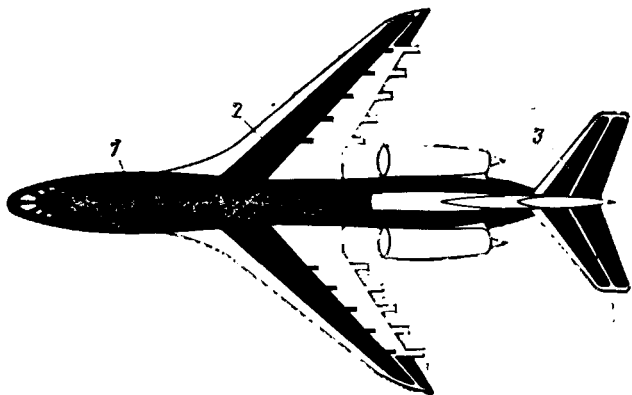


Рис. 18.1. Применение композиционных материалов в планере гипотетического транспортного самолета фирмы «Дуглас»:

1 — фюзеляж (формованные обшивки, стрингеры, обечайки из эпоксидного углепластика), 2 — крыло (балки коробчатого сечения, плоскости, лонжероны, элероны из эпоксидного углепластика); 3 — хвостовое оперение (балки коробчатого сечения, рули высоты и направления из эпоксидного углепластика)

низкой горючестью, химической стойкостью, достаточно высокими механическими характеристиками при нормальных температурах. Теплостойкость связующих на основе эпоксидных смол увеличивается при модифицировании их обычно фенольно-формальдегидными смолами или кремнийорганическими соединениями. Для конструкций, длительно работающих при температуре выше 200°C , эпоксидные связующие заменяют более термостойкими, в основном полиамидными.

В качестве металлической матрицы применяются алюминиевые, титановые, магниевые и другие сплавы.

Комбинированием различных типов армирующих и матричных материалов можно добиться практической возможности создания конструкций с заданными свойствами (прочность, жесткость, радиопрозрачность или радиопоглощение, теплостойкость, стойкость против эрозии, химическая стойкость и т. д.). В настоящее время разрабатываются полиармированные (гибридные) композиционные материалы, в которых в качестве упрочнителя используются одновременно несколько типов волокон.

В настоящее время в конструкциях самолетов, вертолетов и других аппаратов преимущественно применяются композиционные материалы на полимерной матрице.

На рис. 18.1 показаны основные части планера транспортного самолета, применительно к которым исследуются и в значительной мере используются композиционные материалы указанного класса.

В настоящее время внедрение композиционных материалов в конструкции осуществляется по трем основным направлениям:

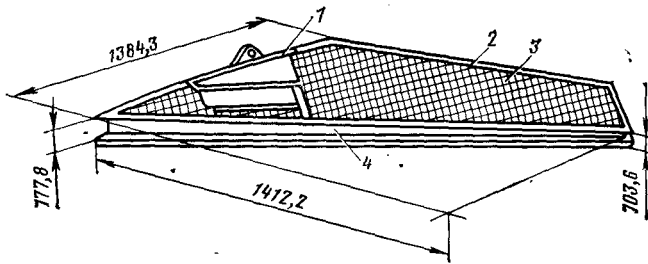


Рис. 18.2. Узел горизонтального стабилизатора самолета F-111:

1 — концевой фитинг из титана; 2 — соты из стеклопластика; 3 — обшивка из боро-эпоксидного композиционного материала; 4 — лонжерон из стеклопластика

замена традиционных материалов без изменения конфигурации деталей; примеры такой замены приведены на рис. 18.2 и 18.3;

локальное упрочнение, при котором элементы из композиционных материалов в виде накладок или вставок подкрепляют детали из традиционных материалов; на рис. 18.4 приведены примеры подобного упрочнения, а на рис. 18.5 показано местное упрочнение в конструкции отдельных узлов горизонтального стабилизатора самолета DC-8;

оптимальное проектирование с учетом особенностей применяемых композиционных материалов.

Свойства армированных пластиков в значительной степени зависят от соотношения между связующим и армирующим материалом и параметрами технологического процесса изготовления.

При увеличении объемного содержания армирующего материала в композиционном материале повышаются механические характеристики (предел прочности при растяжении, изгибе и модуль упругости), однако лишь до некоторого предела, определя-

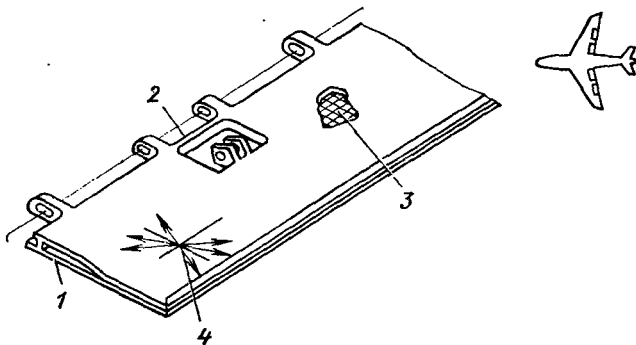


Рис. 18.3. Интерцептор самолета «Боинг-737»:

1 — нервюра из стеклопластика; 2 — фитинги и лонжерон из алюминиевого сплава; 3 — алюминиевый сотовый заполнитель; 4 — верхняя и нижняя обшивка из перекрестного армированного эпоксидного углепластика

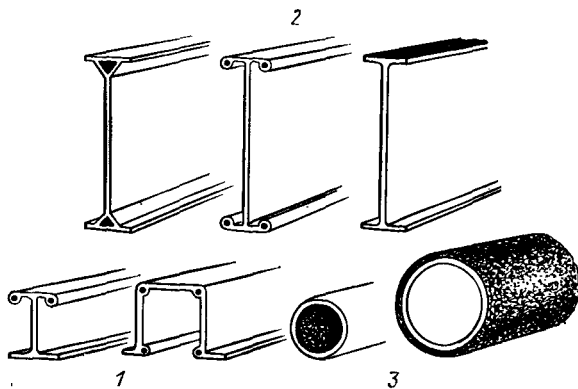


Рис. 18.4. Упрочнение эпоксидным угле- и боропластиком элементов конструкции из традиционных материалов:

1 — элементы (ребра) жесткости; 2 — балки; 3 — стержни, трубы

емого физико-химическим и механическим взаимодействием арматуры и полимерного связующего (рис. 18.6).

Ориентация армирующего материала имеет решающее значение для прочностных характеристик конструкции. Направление армирования или укладки материала в конструкции должны отвечать наибольшей прочности композиционного материала, поскольку этот тип материала обладает ярко выраженной анизотропией механических свойств.

От способа изготовления зависят однородность композиции и качество изделия. Как правило, формование в закрытых формах и под избыточным давлением способствует получению регулярной и бездефектной структуры.

Таким образом, создание эффективной крупногабаритной конструкции из волокнистых композиционных материалов является почти в каждом случае серьезной инженерной задачей, требующей для успешного решения совместного труда конструкторов, технологов и расчетчиков конструкции на прочность.

Композиционные материалы с углеродной матрицей и углеродным волокном применяются для тепловой защиты, изготовле-

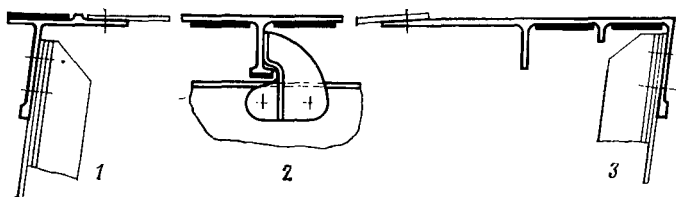


Рис. 18.5. Местное упрочнение в конструкции горизонтального стабилизатора самолета DC-8 эпоксидным боропластиком:

1 — передний лонжерон; 2 — типовой стрингер; 3 — задний лонжерон

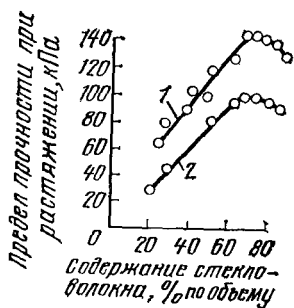


Рис. 18.6. Изменение прочности стеклошпона от относительного содержания стекловолокна:

1 — эпоксиодно-фенольная смола; 2 — бутварно-фенольная смола

ния дисков авиационных тормозов, химически стойких емкостей и аппаратуры.

Композиционные материалы (КМ) на металлической матрице несколько отстают в своем развитии от полимерных. Вместе с тем ряд свойств КМ на металлической матрице (достаточно высокие механические и упругие характеристики в поперечном направлении, при сжатии и кручении, возможность повышения рабочих температур, высокие тепло- и электропроводимость) позволяют рассматривать эти материалы как перспективные для использования в различных авиационных конструкциях.

Наибольшие успехи достигнуты к настоящему времени в разработке и испытании конструкции из бороалюминия.

§ 2. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ

Рассмотрим основные способы получения конструкций из полимерных композитных материалов.

Формование с применением герметичной эластичной оболочки. Укрупненный технологический процесс состоит из следующих основных операций:

1. Подготовка поверхности формы (болванки) путем нанесения антиадгезионной смазки (ЦИАТИМ-201, ЦИАТИМ-221, КИМС-31 и др.) или укладки листового пленочного материала (например, целлофана) для предотвращения склеивания изделия с формой. В зависимости от того, какая поверхность изделия должна быть гладкой и ровной, применяют негативные или позитивные формы (рис. 18.7).

2. Укладка раскроенной ткани, шлона или ленты, пропитанной связующим, или сухой ткани или ленты с последующей пропиткой.

3. Укладка разделительной пленки (целлофана).

4. Укладка эластичной оболочки, например, резинового чехла с герметизацией фланцев формы прижимными кольцами и винтовыми (гидравлическими, пневматическими и т. д.) зажимами.

5. Формование (отверждение связующего) при заданном температурном режиме и избыточном давлении.

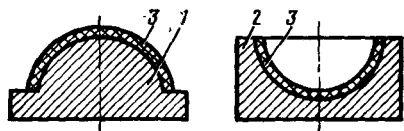


Рис. 18.7. Разновидности форм:
1 — позитивная; 2 — негативная; 3 — формируемое изделие

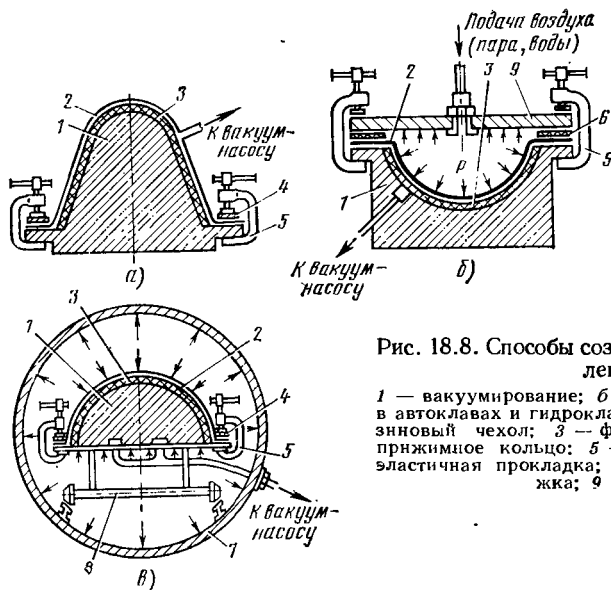


Рис. 18.8. Способы создания избыточного давления:

1 — вакуумирование; б — в пресс-камерах; а — в автоклавах и гидроклавах (1 — форма; 2 — резиновый чехол; 3 — формируемое изделие; 4 — прижимное кольцо; 5 — винтовой зажим; 6 — эластичная прокладка; 7 — автоклав; 8 — тележка; 9 — крышка)

Избыточное давление может создаваться путем вакуумирования (рис. 18.8, а) в пресс-камерах (рис. 18.8, б), в автоклавах и гидроклавах (рис. 18.8, в). Материал в стенках изделия становится тем плотнее и однороднее, чем выше избыточное давление. Наиболее высокое давление [15 МПа (до 150 кг/см²)] можно получить в гидроклаве.

Прессование для изделий сравнительно небольших размеров, ограничиваемых габаритными размерами рабочей зоны стола и мощностью пресса, осуществляется в пресс-формах на гидравлических прессах (рис. 18.9). В зависимости от свойств формируемого материала и требований прочности давление при прессовании изменяется от 5 до 40 МПа (от 50 до 400 кгс/см²). Прессованием могут быть получены изделия с гладкой поверхностью, однородной структурой, высокими физико-механическими свойствами.

Пропитка под давлением. Этот способ позволяет размещать в форме сухой армирующий материал в виде ткани, рубленного короткого (50...70 мм) волокна, трикотажа или ленты, который затем под давлением пропитывается полимерным связующим. Давление создается вакуумированием (рис. 18.10, а) или нагнетанием в форму (рис. 18.10, б). Возможно также сочетание вакуумирования с одновременным нагнетанием, что позволяет увеличить скорость и обеспечить высокое качество пропитки наполнителя 3 необходимой толщины.

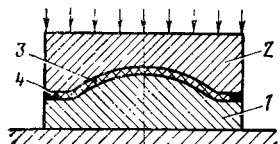


Рис. 18.9. Схема прессования в жесткой форме: 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — прессуемое изделие; 4 — ограничитель зазора

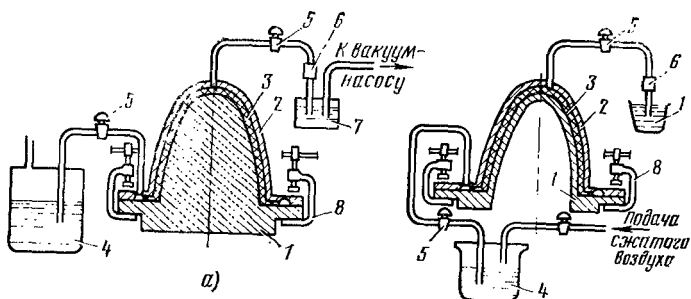


Рис. 18.10. Схема пропитки под давлением:

a — вакуумная (форма жесткая); *б* — под избыточным давлением положительным; 1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — наполнитель (стеклоткань, стеклотрикотаж); 4 — бачок со связующим; 5 — запорный кран; 6 — смотровое окно; 7 — фильтр отстойник; 8 — винтовой зажим

Зазор между пуансоном и матрицей должен быть равен толщине стенок изделия с необходимым допуском. Из бачка 4 под давлением, создаваемым вакуумированием полости между пуансоном и матрицей, с нижней части формы подается связующее. Связующее может отверждаться в термошкафу или нагревом непосредственно в установке.

Достоинством способа является точность обводов изделий, большая плотность материала, отсутствие пор, высокая степень герметичности. Процесс может быть механизирован, что исключает вредное воздействие связующего на работающих. Недостатком способа является дорогостоящая сложная оснастка.

Намотка. Изделия из композиционных материалов, форма которых определяется вращением произвольных образующих, могут быть изготовлены намоткой на оправку соответствующей формы нитей, ленты или ткани, пропитанных связующим.

На рис. 18.11 приведена одна из возможных схем намоточного станка. Станок состоит из привода, вращающего оправку 7 и перемещающего укладчик 6. Укладчик, несущий кольцо, совершает

возвратно-поступательное движение по направляющей 9. Сквозь кольцо проходит нить, жгут со шпулей 1 или лента определенной ширины, пропитанная связующим в ванночке 3. Армирующий материал укладывается на оправку под регулируемым натяжением. Скорость намотки зависит от скорости вращения оправки. В свою очередь вращение оправки и перемещение

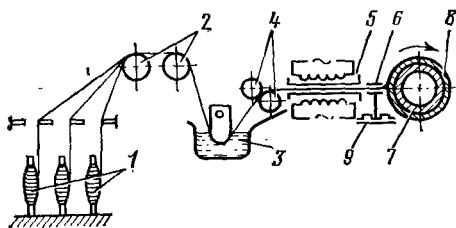


Рис. 18.11. Схема намоточного станка:

1 — шпули; 2 — направляющие ролики; 3 — ванночка со связующим; 4 — отжимные валики; 5 — нагревательная камера; 6 — укладчик; 7 — оправка; 8 — наматываемый полуфабрикат; 9 — направляющая

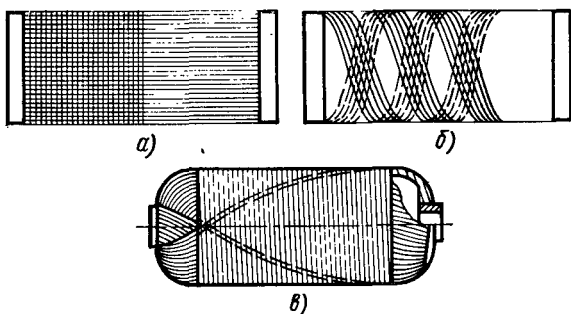


Рис. 18.12. Разновидности методов намотки:

а — продольно-поперечная; *б* — спиральная (косая); *в* — поперечно-спиральная

укладчика синхронизируются. В зависимости от длины изделия, расчетного угла намотки устанавливаются соответствующая частота вращения оправки и продольных ходов укладчика. Наиболее рациональным является программирование связи между движением раскладчика и вращением оправки.

В настоящее время получили распространение следующие разновидности метода намотки.

Тканевая намотка, при которой на цилиндрическую или коническую оправку в определенной последовательности наматываются слои предварительно пропитанной ткани. Характеризуется высокой производительностью оборудования и хорошей герметичностью полученного изделия, сохраняемой вплоть до его разрушения при испытании внутренним давлением.

Продольно-поперечная намотка (ППН) (рис. 18.12, *а*) характеризуется ориентацией пропитанных лент, жгутов по образующим (продольная укладка) и в окружном направлении под углом 90° к оси оправки (поперечная укладка).

Спиральная или геодезическая намотка (рис. 18.12, *б*) осуществляется путем укладки армирующего материала, пропитанного связующим, по траекториям геодезических линий.

Геодезическая намотка используется для изготовления конических отсеков, сосудов высокого давления сферической, а также цилиндрической формы с закрытыми торцами или полярными отверстиями. В последнем случае для получения равномерной оптимальной конструкции производится дополнительная намотка в кольцевом направлении (рис. 18.12, *в*).

Существуют и другие разновидности спиральной намотки (плоскостная, звездообразная, с переменным углом намотки и др.).

Тканевая, продольно-поперечная (ППН) и геодезическая намотки могут осуществляться предварительно пропитанным армирующим материалом (препрегом), и в этом случае процесс носит название «сухой» намотки. Перед укладкой препрега проходят через горячие валки либо через нагревательную камеру и в раз-

мягченном виде укладываются на оправку. Намотка армирующим материалом, смоченным связующим непосредственно перед укладкой на оправку, носит название «мокрой» намотки.

Оба эти метода имеют свои преимущества и недостатки, однако все чаще используется «сухая» намотка, которая позволяет легче контролировать степень армирования изделия при намотке и отверждении, более равномерно распределять связующее по толщине стенки, что повышает качество изделий.

Во многих случаях композиционные материалы используются в сочетании с легкими заполнителями в трехслойных и многослойных конструкциях, например, в обтекателях. В качестве легких заполнителей применяются пенопласты, сотопласты, гофр и др. (см. гл. 15).

Выбор способа получения конструкций из металлических композиционных материалов зависит от вида исходных материалов и упрочнителей, возможности введения упрочнителей в матрицу без его повреждения. Важное значение имеет также экономичность процесса и наличие оборудования.

К числу известных методов изготовления таких конструкций (и материалов) относятся:

пропитка волокон, уложенных в определенном порядке или произвольно расплавом матрицы (а) при нормальном давлении, б) вакуумным всасыванием; в) пропиткой под давлением; г) комбинированными методами пропитки);

диффузионная сварка под давлением;

горячее прессование;

сварка взрывом;

методы порошковой металлургии;

газотермическое напыление;

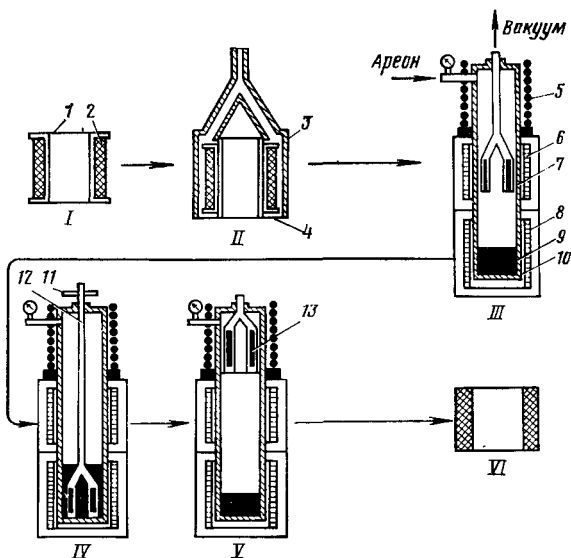
электрохимические методы;

химические методы.

На рис. 18.13 приведена схема установки, предназначенной для получения металлических композиционных материалов и изделий комбинированным (вакуумно-компрессионным) методом пропитки. Для получения кольцевой заготовки (трубы) упрочняющие волокна 2 (углеродное волокно, борное и др.) наматываются на специальную оправку 1, укладываются в контейнер 3 и помещаются в установку, представляющую собой камеру с двумя зонами нагрева: печь предварительного нагрева контейнера с заготовкой 6 и печь плавления матричного металла (алюминия, магния и др.) 8, являющаяся одновременно и зоной пропитки. Сверху камера герметично закрывается крышкой, в которой через отверстие с уплотнением перемещается вверх и вниз полый шток контейнера с загруженной в нем заготовкой. Шток контейнера связан с вакуумным насосом. Через патрубок в крышке в камеру подается под давлением инертный газ. Для предохранения нагрева уплотнения штока в крышке имеется холодильник 5, выполненный в виде навитой на него металлической трубки, через

Рис. 18.13. Последовательные стадии изготовления композиционных материалов методом вакуумно-компрессионной пропитки:

I — намотка волокна на цилиндрическую оправку; *II* — установка оправки в контейнер; *III* — предварительный нагрев; *IV* — пропитка; *V* — охлаждение; *VI* — разборка, удаление контейнера, избытка металла и извлечение трубы из композиционного материала; *1* — оправка; *2* — волокно; *3* — вакуумированный контейнер; *4* — тонкостенное дно (0,15 мм); *5* — холодильник; *6* — печь предварительного нагрева; *7* — контейнер с заготовкой; *8* — печь для плавления металла; *9* — расплав матрицы; *10* — игла для прокалывания дна формы; *11* — рукоятка; *12* — шток; *13* — металл, заполнивший форму



которую непрерывно подается вода. Через полый шток *12* контейнер вакуумируется и устанавливается в зоне предварительного нагрева. Когда матричный металл и волокно подгреваются до нужной температуры, контейнер опускается в расплавленный металл *9* и дном своим, имеющим малую толщину, накалывается на иглы, расположенные на дне тигля с расплавом. Благодаря вакууму в контейнере и избыточному давлению газа в камере расплавленный металл заполняет контейнер с волокном. После пропитки контейнер поднимается в холодильник, где происходит кристаллизация матричного расплава. Затем изделие извлекается из контейнера и подвергается дальнейшей обработке.

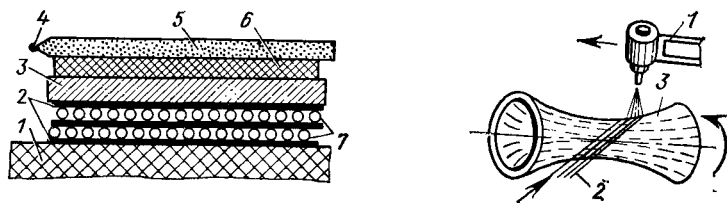


Рис. 18.14. Принципиальная схема изготовления композиционных материалов сваркой взрывом:

1 — основание; *2* — матричный материал (лист, фольга); *3* — метаемая плита; *4* — детонатор; *5* — слой взрывчатого вещества; *6* — буферный слой; *7* — армирующее волокно

Рис. 18.15. Изготовление методом плазменного напыления объемной детали:

1 — плазматрон; *2* — волокно; *3* — напыляемый материал

На рис. 18.14 приведена принципиальная схема изготовления композиционных материалов сваркой взрывом, а на рис. 18.15 — изготовления объемных многослойных изделий методом плазменного напыления.

§ 3. ПРИМЕРЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Изготовление многослойных обтекателей. Конструктивно стенки этих обтекателей представляют собой чередование жестких элементов — оболочек и легких заполнителей и могут быть трех-, пяти- и семислойными. В качестве заполнителей применяются пенопласты или соты из хлопчатобумажных или стеклянных тканей. Обтекатели с сотовым наполнителем обладают лучшими показателями удельной прочности, хорошими диэлектрическими и теплоизоляционными свойствами.

Технологический процесс изготовления обтекателей с сотовым наполнителем включает подготовку материалов к сборке, изготовление оболочек и сотового наполнителя, сборку и формование обтекателя, механическую обработку и окраску с системой операционного и окончательного контроля качества.

Рассмотрим основные этапы изготовления обтекателей с базированием по наружному контуру (здесь опускаются детали, подробно описанные ранее).

На пуансоне изготавливается внутренняя оболочка и предварительно отверждается связующее (рис. 18.16, а). В матрице выклеивается наружная оболочка и предварительно отверждается связующее (рис. 18.16, б). К наружной обшивке приклеивается сотовый наполнитель строго определенной заданной толщины (рис. 18.16, в). После соответствующей подготовки собирается пресс-форма, приклеивается внутренняя обшивка к сотам и окончательно формируется обтекатель (рис. 18.16, г).

Основные этапы способа базирования по внутреннему контуру: на пуансоне (металлическом или неметаллическом) выклеивается внутренняя обшивка требуемой толщины и производится предварительная полимеризация (рис. 18.17, а). На готовую внутреннюю обшивку накладывается сотовый наполнитель, производится склеивание и полимеризация (рис. 18.17, б);

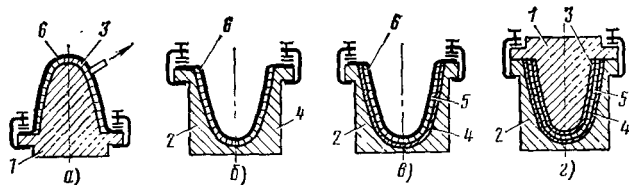
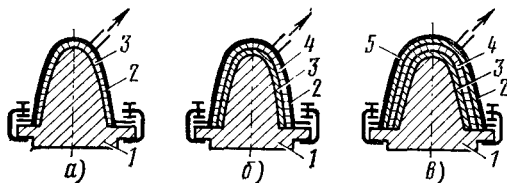


Рис. 18.16. Схема основных этапов изготовления обтекателя с базированием по наружному контуру:

а, б, в, г — последовательность этапов (1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — внутренняя обшивка; 4 — внешняя обшивка; 5 — сотовый наполнитель; 6 — резиновый чехол)

Рис. 18.17. Схема изготовления обтекателя с базированием по внутреннему контуру:

а, б, в — последовательность этапов; 1 — болванка; 2 — резиновый чехол; 3 — внутренняя обшивка; 4 — сотовый наполнитель; 5 — внешняя обшивка



на сотовом наполнителе выклеивается наружная обшивка и производится окончательная формовка обтекателя (рис. 18.17, *в*). Точность наружного контура недостаточно высокая.

С целью повышения точности внешних обводов в некоторых случаях производится механическая обработка сотового наполнителя до укладки наружной обшивки. Приспособление для механической обработки (рис. 18.18) состоит из двух передвигающихся пневматических фрезерных головок, одна из которых производит черновую, а другая окончательную обработку. Головки перемещаются по направляющим рельсам, сам же обтекатель вращается на подставке, приводимой в движение электродвигателем.

На рис. 18.19 приведена схема основных этапов изготовления трехслойного обтекателя с полиуретановым пенозаполнителем. Последовательность операций не отличается от рассмотренной ранее схемы изготовления обтекателя с базированием по наружному контуру. Отпадает лишь этап приклейки сот, заменяемый заливкой полуфабриката наполнителя (рис. 18.19, *в*) и вспениванием его при определенном термическом режиме (рис. 18.19, *г*).

Изготовление лонжерона лопасти вертолета. На рис. 18.20 приведена схема конструктивно-технологического членения лонжерона лопасти несущего винта вертолета. Лонжерон собирается из предварительно отформованных пакетов из стекло- или угле- ткани, пропитанных связующим, с расположением основы вдоль оси лонжерона. Для обеспечения противовлатгерных характеристик лопасти в носовую часть лонжерона вклеивается секционный стальной центровочный груз 4.

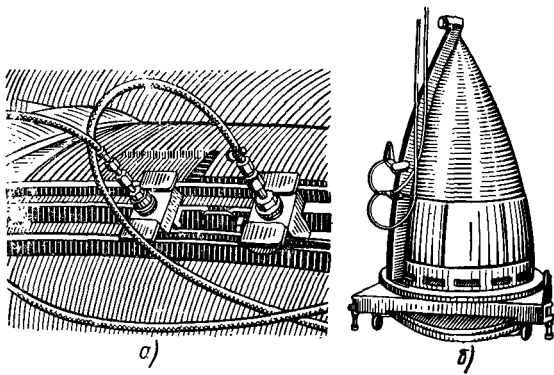


Рис. 18.18. Обработка легкого наполнителя обтекателя антенны:

а — пневматические фрезерные головки; *б* — общий вид приспособления для фрезерования

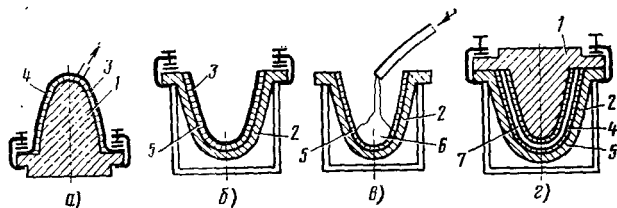


Рис. 18.19. Схема изготовления трехслойного обтекателя с пенозаполнителем: а, б, в, г — последовательность этапов (1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — резиновый чехол; 4 — внутренняя обшивка; 5 — внешняя обшивка; 6 — жидкая композиция; 7 — пенопласт)

Основные этапы технологического процесса изготовления лонжерона представлены на рис. 18.21:

по специальным шаблонам производится раскрой армирующего материала;

на металлические оправки, отображающие соответствующие поверхности лонжерона, согласно схеме членения наносится антиадгезионная смазка и набираются пакеты 1, 2, 3 (см. рис. 18.20) из листов раскроенной ткани, пропитанных связующим (рис. 18.21, а);

производится предварительное формование пакетов в автоклаве при температуре $60...70^{\circ}\text{C}$ для образования профилей (рис. 18.21, б);

в пресс-камере, внутренняя форма которой соответствует внешним обводам лонжеронов, после нанесения антиадгезионного покрытия, производится сборка предварительно отформованных пакетов и центровочного груза с укладкой внутрь лонжерона резинового мешка (рис. 18.21, в);

производится полимеризация лонжерона посредством вакуумирования и подачи в мешок избыточного давления при соответствующей температуре;

охлаждение лонжерона до температуры $40...50^{\circ}\text{C}$ под давлением, после чего производится дополнительная термическая обработка;

после удаления технологического припуска (образцов для испытаний) производится контроль качества сборки, геометрических параметров, закрутки и массы лонжерона.

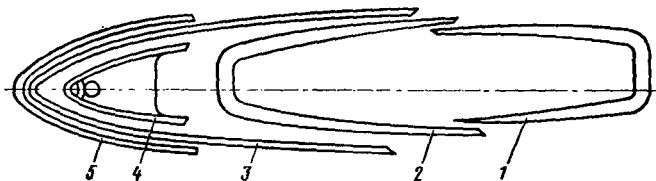
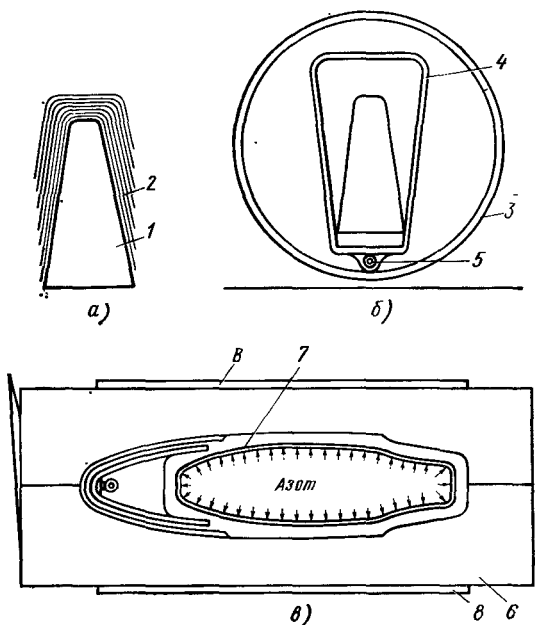


Рис. 18.20. Схема членения лонжерона несущего винта вертолета:

1, 2, 3 — предварительно отформованные пакеты; 4 — центровочный груз; 5 — смола

Рис. 18.21. Основные этапы технологического процесса изготовления лонжерона:

a — сборка пакета; *б* — предварительная опрессовка пакета; *в* — прессование лонжерона; 1 — оправка; 2 — набор раскресненных листов; 3 — автоклав; 4 — мешок; 5 — вакуумная трубка; 6 — пресс-форма; 7 — резиновый мешок; 8 — электронагреватель



§ 4. ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, ИНСТРУМЕНТ

Оборудование для изготовления изделий из композиционных материалов многообразно. В нашей стране в производстве полуфабрикатов (препрегов) для изготовления однонаправленной ленты (стеклянной и углеродной ленты шириной до 10 мм) используются установки, обеспечивающие максимальную скорость пропитки ленты связующим 20,7 и 12 м/мин (схему установки см. на рис. 18.22). Для изготовления крупногабаритных плоских изделий и изделий одинарной кривизны методом выкладки предварительно пропитанной однонаправленной ленты или ткани с требуемой ориентацией применяются станки с ПУ или ЧПУ

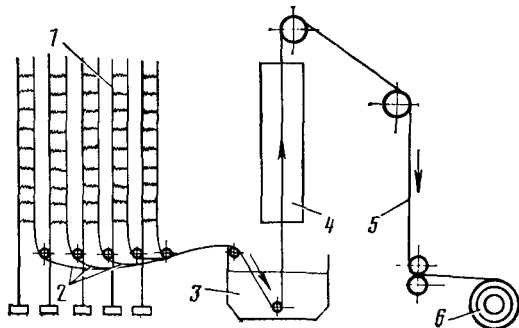


Рис. 18.22. Схема изготовления препрега:

1 — шпулярник; 2 — нити (волокна); 3 — пропиточная ванная; 4 — сушильная камера ($t = 110 \dots 115^\circ\text{C}$); 5 — готовая лента; 6 — катушка с готовой лентой

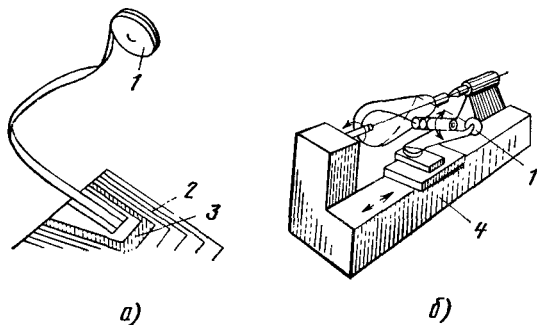


Рис. 18.23. Схема оборудования для изготовления изделий из композиционных материалов методами: а — выкладки; б — намотки; 1 — катушка с лентой (препрег); 2 — установка для выкладки ленты; 3 — заготовка детали (изделия); 4 — намоточный станок с ЧПУ

типа ВКЛ (рис. 18.23, а), на которых обеспечивается скорость выкладки ленты от 1 до 10 м/мин и угол выкладки от 0 до 90°. Для изготовления изделий типа тел вращения и тел двойной кривизны, близких по форме к телам вращения, с использованием препрегов применяются станки с пятикоординатными системами ЧПУ, причем угол намотки можно менять в пределах от 5 до 90°. Схема подобного станка показана на рис. 18.23, б.

Для отверждения изделий используются автоклавы соответствующих размеров с электронагревом до 380 °С и выше. Давление в автоклаве может составлять до 1,6 МПа (16 кгс/см²) и более. Для изделий сравнительно небольших габаритных размеров могут быть использованы термошкафы, снабженные вакуумными установками, компрессорами и соответствующей регулирующей и измерительной аппаратурой.

Оснастка для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов должна удовлетворять определенным требованиям:

пресс-формы, болванки, оправки (для намотки) должны быть достаточно прочными, жесткими, чтобы препятствовать деформации под воздействием вакуумирования, избыточного давления, натяжения нитей;

оснастка и оборудование должны обеспечивать равномерный нагрев всей поверхности изделий (коэффициенты линейного расширения оснастки и формируемого изделия должны быть одинаковы). Поверхности, на которые может попадать связующее, клей, пеномассы, должны предохраняться от склеивания соответствующими смазками (ЦИАТИМ-221, КПМС-31 и др.);

конструкция оснастки должна допускать укладку полуфабриката и выемку (съем) изделий с минимальной затратой времени.

Материалами для изготовления оправок, болванок, пресс-форм могут служить алюминиевые сплавы, стали, резина, пластмасса, в частности, отходы стеклопластиков и углепластиков, дерево или облагороженная древесина, гипс. Перспективно применение оснастки с алюминиевым сотовым наполнителем и графито-

эпоксидными обшивками. Выбор материала и конструкции оснастки зависит от ряда факторов, например, масштабов производства, габаритных размеров и формы изделия, способа нагрева и т. д. Оснастка может быть неразборная, разборная, разрушаемая (например, из гипса или легкоплавкая), а также комбинированная из нескольких материалов (металлорезиновая, металло-гипсовая и т. д.).

§ 5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Контроль качества. Обеспечение высокого качества изделий из композиционных материалов, изготавливаемых любым методом, предусматривает тщательный контроль на всех этапах производства.

Контролю подлежат: исходные материалы (наполнитель, связующее); качество подготовки поверхности; вязкость и расход связующих; правильность укладки пропитанного связующим или сухого армирующего материала (ткани, нити, ленты); правильность укладки либо дозировки легкого заполнителя; режимы термической обработки.

У готовых изделий проверяют внешний вид, форму и геометрические размеры, качество поверхности (отсутствие вздутий, трещин, волнистости, выступающей текстуры, волокна, зазоров в стыках), прочность, а у антенных обтекателей также радиопрозрачность, КПД, градиент и диаграммы направленности на специальных фазометрических стендах.

Специальная контрольная аппаратура (например, дефектоскоп типа ИАД-2) позволяет выявить качество склеивания (отклеивание, непроклей). Прочность определяется испытанием образцов-свидетелей или выборочно — самих изделий. Все изделия подвергают обязательному весовому контролю.

Техника безопасности. При изготовлении изделий из композиционных материалов необходимо особенно строго соблюдать правила техники безопасности и пожарной безопасности:

к работе допускать только лиц, прошедших инструктаж по технике безопасности;

работы производить только при наличии приточной и вытяжной вентиляции;

оборудование для механической обработки должно быть снабжено специальными отсосами;

до начала работы рабочие обязаны надеть спецодежду — косынку или берет, халат из плотной ткани с сухим воротником и застегивающимися манжетами, рукавицы;

запрещается прием пищи в помещении, где ведутся работы с композиционными материалами;

при перерывах в работе все открытые части тела (лицо, руки) необходимо мыть теплой водой. По окончании работы вычистить спецодежду пылесосом и принять горячий душ;

связующее допускается изготавливать только в помещении, имеющем действующую приточно-вытяжную вентиляцию, в спецодежде из плотной ткани и в хирургических (резиновых) перчатках.

Глава 19

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

§ 1. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

При проектировании технологического процесса сборки изделия определяются все данные, необходимые для выполнения сборочных работ: выбираются схемы сборки и базирования, схемы обеспечения точности и взаимозаменяемости; разрабатываются технические условия на поставку элементов изделия на сборку; определяется состав и последовательность выполнения этапов сборки, операций и переходов; выбирается состав оборудования, инструмента и оснастки; определяется состав и квалификация исполнителей; рассчитываются нормы времени, расценки и режимы операций; вычисляется трудоемкость и технологическая себестоимость, цикл сборки и т. д.

Сборочные работы в самолетостроении являются многовариантными как по возможному составу и последовательности операций технологического процесса, так и по составу применяемой оснастки, оборудования, инструмента и т. д. Кроме того, сборочные работы органически взаимосвязаны с другими процессами изготовления изделия через технические условия на поставку деталей и сборочных единиц по этапам сборки. Поэтому все задачи проектирования технологических процессов сборки необходимо решать комплексно, с учетом других задач технологической подготовки производства изделия. В этих условиях проектирование оптимальных технологических процессов и оснащения сборки требует большого количества трудоемких вычислений, поэтому для повышения качества и эффективности проектирования следует применять автоматизированное проектирование с использованием ЭВМ и САПР.

Необходимость сокращения сроков подготовки производства и ускорения выпуска новых самолетов приводит к использованию на разных этапах освоения выпуска изделий технологических процессов сборки, различающихся организацией сборочных работ, применяемой сборочной оснасткой, оборудованием и инструмен-

том и т. д. Поэтому рабочая технология разрабатывается в виде *временных технологических процессов и рабочих технологических процессов сборки.*

Временные технологические процессы действуют в основном на первом этапе освоения в производстве нового самолета, т. е. при изготовлении деталей и сборке головной серии. Временная технология содержит общий план и маршрутную технологию обработки деталей, узлов и агрегатов в различных цехах и технологические условия на межцеховую поставку деталей. При изготовлении самолета по временной технологии пользуются в основном универсальным оборудованием и инструментом, применяют небольшое количество специальных приспособлений, работы нормируются по опытно-статистическим нормам.

На основании опыта, полученного при изготовлении самолета по временной технологии, разрабатывают и внедряют рабочие технологические процессы серийного производства, оснащают цехи высокопроизводительным оборудованием и оснасткой для того, чтобы наряду с получением требуемого качества обеспечить заданную программу выпуска при высоких технико-экономических показателях. К моменту освоения производством рабочих технологических процессов, оснастки и оборудования временная технология должна быть изъята из производства и ритмичный серийный выпуск самолетов должен производиться по рабочей технологии.

При сборке самолетов широко применяются технологические процессы различного уровня унификации: стандартные, типовые, унифицированные по составу элементов технологической системы или последовательности сборочных операций. Элементами технологической системы сборочных работ являются оборудование, инструмент, рабочая и контрольно-измерительная оснастка, вспомогательные материалы и т. д.

Содержание процесса проектирования сборочных работ определяется в основном конструктивно-технологическими свойствами собираемого изделия. Для простых сборочных единиц — например, для лючка (см. рис. 12.4) можно непосредственно начинать проектирование рабочего технологического процесса сборки. Для более сложных сборочных единиц — агрегатов, отсеков, сложных узлов и панелей планера проектирование технологических процессов сборки разделяется на этапы выбора схемы базирования и состава оснащения сборки, определения последовательности выполнения сборочных операций, проектирования рабочего технологического процесса сборки. На первом этапе решаются следующие задачи:

- выбор схемы базирования элементов сборочной единицы и схемы сборки;
- выбор конструктивной схемы сборочной оснастки;
- выбор схемы обеспечения точности, взаимозаменяемости и схемы увязки технологической оснастки;

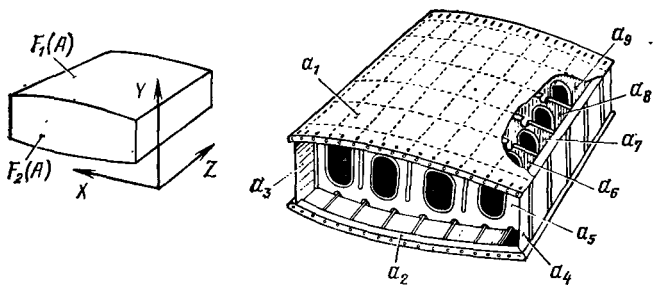


Рис. 19.1. Кессон центроплана крыла:

a — основные контуры кессона; $F_1(A)$ — контур аэродинамических обводов, $F_2(A)$ — контур разреза кессона с ОЧК; b — конструкция кессона: a_1, a_2 — панели; a_3, a_4 — лонжероны; a_5, a_6, a_7, a_8, a_9 — нервюры

разработка технических условий на поставку деталей и сборочных единиц по этапам сборки (ТУ);

разработка ТУ на проектирование сборочной оснастки.

На втором этапе решаются такие задачи:

выбор возможных последовательностей установки элементов сборочной единицы с учетом условий их базирования и доступа к месту установки;

выбор возможных последовательностей выполнения операций соединения, герметизации с учетом последовательности установки элементов сборочной единицы;

выбор оптимальной последовательности выполнения всех операций сборки.

На третьем этапе решаются следующие задачи:

определение состава рабочей оснастки, инструмента, оборудования и вспомогательных материалов;

определение состава и квалификации исполнителей;

расчет режимов и нормирование операций сборки;

расчет технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта технологического процесса;

оформление карт технологического процесса сборки.

При решении указанных задач технологического проектирования требуемый состав и полнота представленных данных о конструктивно-технологических свойствах изделия и свойствах технологической системы весьма различны. Поэтому при проектировании технологии сборки технолог обычно рассматривает не все элементы сборочной единицы одновременно, а выделяет основные элементы конструкции, важные для решения данной задачи. Например, при выборе схемы базирования и сборки кессона крыла (рис. 19.1) вначале рассматриваются только лонжероны, нервюры и панели. После выбора схемы базирования и сборки основных элементов рассматриваются все остальные элементы сборочной единицы — способы их базирования и сборки устанавливаются с учетом вариантов сборки основных элементов конструкции.

Наборы основных элементов сборочной единицы, рассматриваемые в конкретном случае, представляют собой расчетные модели, каждая из которых является аналогом изделия или технологической системы, включающим минимум данных, необходимых для решения конкретной задачи с учетом требуемой точности решения. Построение расчетной модели изделия представляет собой процесс выделения и анализа свойств элементов изделия, влияющих на решение данной задачи, с последующим объединением в один элемент модели эквивалентных по составу рассматриваемых свойств элементов конструкции изделия. Аналогичными способами строятся расчетные модели технологической системы сборки изделия.

Для обеспечения комплексного решения всех задач, а также возможности использования ЭВМ при технологическом проектировании рекомендуется все свойства изделия и технологической системы описывать с помощью понятия контура (ГОСТ 22770—77). Контур отображает в математической модели конструктивно-технологические свойства изделия или технологической системы; понятие контура является обобщением таких понятий, как свойство, характеристика, параметр, показатель и т. п. [1]. При совместном описании изделия A и технологической системы P они характеризуются одними и теми же контурами, причем контур $F_i(A)$ описывает сами свойства изделия, а контур $F_i(P)$ — свойства технологической системы, позволяющие получить $F_i(A)$ в процессе производства изделия.

§ 2. ВЫБОР СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ И СОСТАВА ОСНАЩЕНИЯ СБОРКИ

В собранном изделии каждый его элемент должен занимать относительно других элементов строго определенное положение. Для выполнения этого условия необходимо достигнуть определенности базирования каждого устанавливаемого элемента изделия, что обеспечивает требуемое качество геометрических контуров конструкции и сборочной единицы в целом.

Геометрический контур представляет собой совокупность поверхностей, линий и точек объекта, имеющих определенное функциональное назначение. Например, геометрическими контурами кессона центроплана (см. рис. 19.1) будут: F_1 — контур аэродинамических обводов, F_2 — контур фланцевого разъема центроплана с ОЧК, F_3 — контур сопряжения панели с лонжероном и т. д. Контур F_i характеризуется набором числовых параметров $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$; для каждого параметра m_j устанавливается поле допуска Δ_j , ограничивающее поле рассеяния погрешностей ω_j этого параметра. Контур F_i можно представить как логическую величину, принимающую значение $F_i = 1$, если для всех параметров этого контура выполняется условие $\omega_j \leq \Delta_j$; если хотя бы

один параметр имеет поле рассеяния погрешностей $\omega_j > \Delta_j$, то $F_i = 0$:

$$F_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \forall m_j (\omega_j \leq \Delta_j) \\ 0, & \text{если } \exists m_j (\omega_j > \Delta_j). \end{cases} \quad (19.1)$$

Здесь \forall — квантор общности, соответствующий выражению «для всех ... имеет место ...», а \exists — квантор существования, соответствующий выражению «существует хотя бы один ... такой, что имеет место ...». В случае $F_i = 1$ качество контура F_i удовлетворяет заданным требованиям по всем параметрам, а в случае $F_i = 0$ — не удовлетворяет. Любой геометрический контур F_i можно представить состоящим из двух частей — контура формы F_i^P , характеризующего форму данного контура в собственной системе координат, и контура положения F_i^U , характеризующего положение этого контура относительно внешней системы координат. Например, контур $F_i^P(a_i)$ характеризует форму наружной поверхности (аэродинамические обводы) панели a_i , а контур $F_i^U(a_i)$ — положение этой поверхности относительно базовых осей кессона центроплана (см. рис. 19.1). В свою очередь, контур F_i^U можно разложить на составляющие F_i^{UX} , F_i^{UY} , F_i^{UZ} , характеризующие положение F_i^P относительно осей O_x , O_y и O_z . Логическая зависимость между контуром F_i и его составляющими определяется выражением

$$F_i = F_i^P \wedge F_i^U = F_i^P \wedge F_i^{UX} \wedge F_i^{UY} \wedge F_i^{UZ}, \quad (19.2)$$

где \wedge — символ логического произведения (конъюнкции) логических значений контуров формы и положения; $F_i^P \wedge F_i^U$ читается « F_i^P и F_i^U ». Очевидно, определенность базирования элемента конструкции a_k будет обеспечена, если все его геометрические контуры имеют логическое значение $F_i = 1$ или с учетом (19.1), (19.2) — при условии

$$F(a_k) = \bigwedge_{i=1}^m (F_i^P(a_k) \wedge F_i^{UX}(a_k) \wedge F_i^{UY}(a_k) \wedge F_i^{UZ}(a_k)) = 1. \quad (19.3)$$

Здесь m — количество геометрических контуров элемента a_k . Так как контуры $F(a_k)$ взаимосвязаны по своим параметрам, то для выполнения условия (19.3) часто достаточно базировать a_k лишь по некоторым контурам $F_i(a_k)$, при значении $F_i(a_k) = 1$ которых остальные контуры $F_i(a_k)$ принимают значения $F_j(a_k) = 1$. Так, если базировать панель a_1 кессона центроплана (см. рис. 19.1) путем сопряжения контуров $F_1(a_1)$, $F_2(a_1)$ панели с рабочими контурами рубильников и стапельной плиты сборочного приспособления, то все другие контуры панели примут значения $F_j(a_1) = 1$ и условие (19.3) будет выполнено.

Набор элементов $B_i(a_k) = \{a_k, \dots, a_j\}$ будет возможным составом сборочной базы при установке a_k , если при этом выполняется

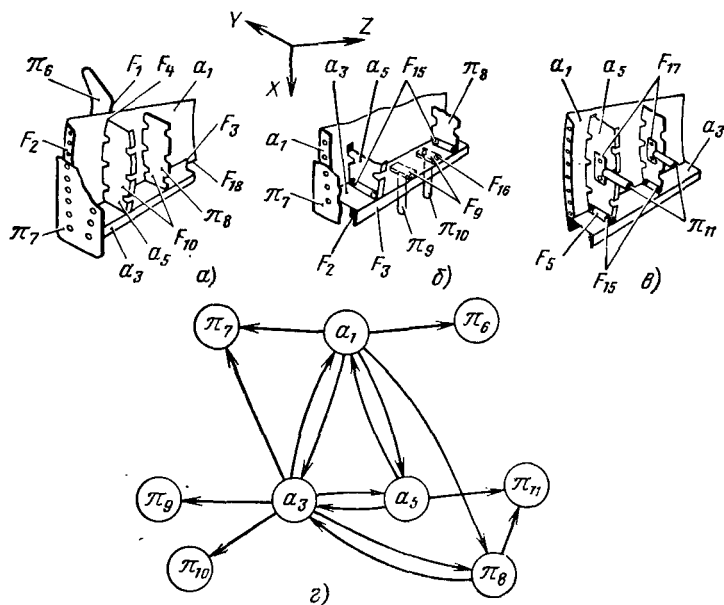


Рис. 19.2. Составы базовых элементов и граф базирования при сборке центроплана:

a — состав базовых элементов панели; b — состав базовых элементов лонжерона; c — состав базовых элементов нервюры; d — граф базирования. Контуры: F_1 — контур аэродинамических обводов; F_2 — контур разъема кессона с ОЧК; F_3 — контур сопряжения панели с лонжероном; F_4 — контур сопряжения панели с нервюрой; F_5 — контур сопряжения лонжерона с нервюрой; F_6 — контур сопряжения стенки лонжерона; F_7 — контур стенки лонжерона; F_8 — контур КФО в лонжероне; F_9 — контур СО лонжерона с нервюрой; F_{10} — контур КФО в лонжероне; F_{11} — контур КФО в нервюре; F_{12} — контур кромки панели по стыку с лонжероном. Базовые элементы оснастки: π_6 — рубльник; π_7 — ступельная плита; π_8 — макетная нервюра; π_9 — упор; π_{10} — фиксатор КФО лонжерона; π_{11} — фиксатор КФО нервюры

условие (19.3). Определение всех возможных составов сборочных баз для a_k осуществляется следующим образом:

1. Выявляются все контуры элемента a_k , которые могут быть сопряжены с контурами базовых элементов; к числу таких контуров принадлежат поверхности сопряжения a_k с другими элементами сборочной единицы A и поверхности, которые можно дополнить базовыми элементами оснастки.

2. Выявляются контуры, необходимые для обеспечения определенности базирования элемента a_k .

3. Определяются возможные составы сборочных баз для a_k . Например, состав основных элементов кессона центроплана и состав их контуров, дополняемых базовыми элементами сборочной оснастки, показан на рис. 19.2.

Определение возможных составов сборочных баз $B_i(a_k)$ осуществляется с помощью матриц контуров, реализуемых — принимающих значение $F_i = -1$ — при базировании по рассматриваемым контурам базовых элементов (рис. 19.3). В этих матрицах

Базовый элемент	Базовый контур	F_1			F_2			F_3	F_4	F_{18}
		P	U_x	U_z	P	U_x	U_z	P	U_y	P
a_3	$F_3(a_3)$							●		
a_3	$F_{18}(a_3)$									●
a_5	$F_4(a_5)$	●	●				●	●	●	
π_6	$F_2(\pi_6)$		●				●	●	●	
π_6	$F_{18}(\pi_6)$		●							●
π_7	$F_2(\pi_7)$			●	●	●	●			
π_8	$F_4(\pi_8)$	●	●					●	●	●

а)

Базовый элемент	Базовый контур	F_2			F_3	F_5	F_9	F_{15}	F_{16}	F_{18}		
		P	U_x	U_z	P	U_y	P	U_z	P	U_x	U_z	P
a_7	$F_3(a_7)$				●	●						
a_5	$F_5(a_5)$					●						
a_5	$F_{15}(a_5)$				●	●	●	●	●			●
π_7	$F_2(\pi_7)$	●	●	●		●		●				
π_8	$F_{15}(\pi_8)$				●	●	●	●	●			●
π_9	$F_9(\pi_9)$				●	●	●	●	●			●
π_{10}	$F_{16}(\pi_{10})$				●	●	●	●	●	●	●	●

б)

Базовый элемент	Базовый контур	F_4			F_5	F_{10}	F_{15}	F_{17}		
		P	U_y	U_z	P	U_z	P	U_x	U_y	U_z
a_1	$F_4(a_1)$	●	●							●
a_3	$F_5(a_3)$			●	●	●				●
a_3	$F_{15}(a_3)$	●	●	●	●	●	●	●	●	●
π_{11}	$F_{17}(\pi_{11})$	●	●	●	●	●	●	●	●	●

в)

Рис. 19.3. Матрицы реализуемых контуров элементов кессона центроплана при базировании:

а — матрица реализуемых контуров панели; б — матрица реализуемых контуров лонжерона; в — матрица реализуемых контуров нервюры

значения $F_i = 1$ показаны черными кружками. Состав реализуемых контуров F_i при базировании a_k по контуру F_j определяется путем расчета технологических размерных цепей: если погрешности параметров F_i не выходят за пределы допусков при базировании по F_j , то принимается $F_i = 1$. Определение $B_i(a_k)$ по матрицам вида (рис. 19.3) сводится к поиску наборов строк матрицы, обеспечивающих выполнение условия (19.3). Например, в матрице (рис. 19.3, а) одним из таких наборов будет $\{F_3(a_3), F_{18}(a_3), F_4(a_5), F_2(\pi_7)\}$, соответствующий составу сборочных баз $B_1(a_1) = \{a_3, a_5, \pi_7\}$, когда панель a_1 базируется по лонжеронам, нервюрам и ступенчатой плите, а также составы $B_2(a_1) = \{a_3, \pi_7, \pi_8\}$ и $B_3(a_1) = \{\pi_6, \pi_7\}$. Возможными составами сборочных баз лонжеронов будут $B_1(a_3) = \{a_1, \pi_7, \pi_9\}$, $B_2(a_3) = \{a_5, \pi_7\}$, $B_3(a_3) = \{\pi_7, \pi_8\}$, $B_4(a_3) = \{\pi_7, \pi_{10}\}$, а нервюр — $B_1(a_5) = \{a_1, a_3\}$, $B_2(a_5) = \{a_3\}$, $B_3(a_5) = \{\pi_{11}\}$.

Возможная схема базирования при сборке сборочной единицы A определяется совокупностью $B_i(A)$ составов сборочных баз $B_i(a_k)$ всех n элементов A

$$B_i(A) = \{B_{i_1}(a_1), B_{i_2}(a_2), \dots, B_{i_n}(a_n)\}.$$

Выбор оптимальной схемы базирования при сборке отсека (агрегата) связан с большим объемом вычислений, поэтому его целесообразно осуществлять с применением ЭВМ. Исходными данными для выбора оптимальной схемы базирования являются данные о конструктивно-технологических свойствах сборочной единицы и о возможных составах сборочных баз входящих элементов конструкции. Например, для кессона крыла (рис. 19.1) исходные данные включают в себя: перечень, число, наименование и габаритные размеры узлов и панелей, виды соединений, толщину пакета, число болтов, заклепок, необходимых для соединения узлов и панелей между собой. За критерий оптимальности чаще всего принимается технологическая себестоимость сборки. Технологическая себестоимость сборки S вычисляется на ЭВМ по укрупненной методике. Величина S складывается из двух частей: из технологической себестоимости установки — базирования элементов изделия $S_{уст}$ и технологической себестоимости выполнения соединения $S_{соед}$ элементов сборочной единицы

$$S = S_{уст} + S_{соед}$$

При сборке агрегата для различного состава сборочных баз величина технологической себестоимости определяется по формуле

$$S_{B(A)} = \sum_{i=1}^n S_i_{уст} + \sum_{j=1}^m S_j_{соед}$$

где $S_i_{уст}$ — технологическая себестоимость установки панелей, лонжеронов, нервюр и т. д.; $i = 1, 2, 3, \dots, n$ — число элементов, входящих в отсек (агрегат); $S_j_{соед}$ — технологическая себестоимость выполнения соединения деталей, узлов и панелей между собой; $j = 1, 2, 3, \dots, m$, где m — общее число заклепок (болтов), устанавливаемое при сборке агрегата.

Технологическая себестоимость базирования каждой панели, узла, детали, входящей в агрегат, определяется по формуле

$$S_{уст} = V_0 + C_0$$

где V_0 — текущие затраты на установку в агрегат узла, панели, сумма расходов на заработную плату рабочих, на амортизацию и эксплуатацию универсального оборудования, оснастки и инструмента, p ; C_0 — условно-постоянные затраты, отнесенные к готовой программе выпуска — сумма расходов на специальное оборудование, оснастку и инструмент, p .

Величины V_0 и C_0 определяются по формулам:

$$V_0 = \rho_V B^{\alpha_V} L^{\beta_V} n^{\gamma_V};$$

$$C_0 = \rho_C B^{\alpha_C} L^{\beta_C} n^{\gamma_C} T^{-0,5} N^{-1},$$

где ρ_V, ρ_C — удельные затраты на установку узлов и панелей (p/m^2), зависящие от вида элемента изделия и способа его базирования; B — ширина узла или панели, m ; L — длина узла или

Элемент конструкции	Состав сборочных баз	Вычисление V_0				Вычисление C_0			
		ρ_V	α_V	β_V	γ_V	ρ_C	α_C	β_C	γ_C
Панели	$B_1(a_1)$	9	0,6	0,6	0,6	$5 \cdot 10^1$	1,2	1,2	1,2
	$B_3(a_1)$	3	0,7	0,7	0,7	$1 \cdot 10^3$	0,3	0,3	0,3
Лонжероны	$B_4(a_3)$	0,2	1,4	1,4	1,4	$3 \cdot 10^2$	1,2	1,2	0,2
Нервюры	$B_2(a_5)$	0,5	0,9	0,9	0,9	$2 \cdot 10^2$	0,3	0,3	0,5
	$B_3(a_5)$	0,6	0,4	0,4	0,4	$2,5 \cdot 10^3$	1,2	1,2	0,2

панели, м; n — число узлов (панелей) данного вида, шт.; T — продолжительность выпуска данного изделия, год; N — годовая программа выпуска изделия, шт./год; α , β , γ — безразмерные коэффициенты, зависящие от способа базирования (см. табл. 19.1).

Технологическая себестоимость соединения конструкции из алюминиевых сплавов определяется по следующим укрупненным формулам:

а) при заклепочных соединениях (сверление на сверлильных установках, вставка заклепок ручная, клепка пневмомолотками)

$$S_{\text{соед}}^{\text{кл}} = 0,02\delta^{0,4}d^{0,5}m_3;$$

б) при болтовых соединениях со свободной посадкой

$$S_{\text{соед}}^{\text{бс}} = 0,06\delta^{0,4}d^{0,5}m_6,$$

где δ — средняя толщина пакета соединяемых элементов, мм; d — средний диаметр заклепок или болтов, мм; m_3 , m_6 — общее число заклепок или болтов, устанавливаемых при сборке агрегата (отсека).

Например, при габаритных размерах панелей $B = 1,2$ м и $L = 1,2$ м, лонжеронов $B = 0,3$ м и $L = 1,5$ м, нервюр $B = 0,35$ м и $L = 1,2$ м оптимальной будет схема базирования

$$B_i(A) = \{B_1(a_1), B_4(a_3), B_2(a_5)\},$$

соответствующая сборке по внешней поверхности каркаса, и базированию лонжеронов по фиксаторам КФО, а нервюр — по СО в лонжеронах. При этом технологическая себестоимость установки составит $S_{\text{уст}} = 20,96$ р., а технологическая себестоимость выполнения соединений — $S_{\text{соед}} = 64,7$ р.

Схема сборки сборочной единицы A формируется на основе схемы технологического членения путем введения в эту схему сборочных приспособлений. Основанием для определения конструктивной схемы сборочного приспособления является состав

базовых элементов сборочной оснастки в выбранной схеме базирования. Так, если при сборке кессона центроплана используется упомянутая ранее схема базирования $B_i(A)$, то в стапеле сборки кессона должны быть стапельные плиты π_7 и фиксаторы КФО лонжеронов π_{10} . После выбора конструктивной схемы сборочного приспособления выбирается схема увязки плазово-шаблонной и эталонной оснастки, необходимой для обеспечения точности и взаимозаменяемости сборочной единицы.

Детали и узлы, поступающие на сборку, должны удовлетворять требованиям, заданным в чертежах изделия, и техническим условиям на поставку, отражающим особенности процесса сборки (см. гл. 12, § 5). Требования к деталям и узлам, поступающим на сборку, разрабатываются после выбора схемы базирования и согласования с соответствующими цехами схемы сборки агрегатов, отсеков (секций) и узлов. По мере освоения производства изделия технические условия на поставку узлов и деталей могут изменяться.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Технологический процесс сборки включает в себя операции установки элементов сборочной единицы в требуемое положение относительно друг друга, операции соединения и другие операции, связанные со специфическим назначением сборочной единицы (операции герметизации, доводочные, балансировки и т. п.). Особую группу составляют операции контроля, предназначенные как для контроля качества изделия, так и для контроля основных технологических операций и режимов их выполнения.

В соответствии с ГОСТом 22770—77 при технологическом проектировании все элементы технологического процесса — этапы, операции и переходы — называются *технологическими операторами*. К основным задачам технологического проектирования относятся определение состава технологических операторов τ_k , входящих в технологический процесс T_i , и определение последовательности выполнения технологических операторов, обусловленной конструктивно-технологическими свойствами изделия и свойствами технологической системы.

Состав операторов технологического процесса представляется в виде множества T_i ; если оператор τ_k входит в T_i , то обозначается $\tau_k \in T_i$. После определения последовательности выполнения операторов технологический процесс T_i представляет собой упорядоченное множество (последовательность) операторов

$$T_i = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{k-1}, \tau_k, \dots, \tau_n).$$

В этой последовательности операторы, предшествующие τ_k , образуют подмножество $T_k^0 = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{k-1})$, обозначается $T_k^0 \subset T_i$. В составе T_k^0 существуют:

1. Группы операторов $B_i(\tau_k)$, после выполнения которых становится возможным выполнение τ_k , например, вставка болта возможна после сверления и разделки отверстия, контроль качества сварного шва — после выполнения операций сварки и т. п.

2. Группы операторов $W_j(\tau_k)$, после выполнения которых выполнение τ_k становится невозможным, например, разделка отверстия невозможна после установки болта, установка болта невозможна после установки деталей, закрывающих доступ для установки этого болта и т. п.

3. Очевидно, выполнение любого оператора τ_k в технологическом процессе T_i возможно только в том случае, если в составе операторов T_i^0 существует хотя бы один набор операторов вида $B_j(\tau_k)$ и нет ни одного набора операторов вида $W_j(\tau_k)$. Эти условия в математической форме записываются так: последовательность T_i выполнения технологических операторов $\tau_k \in T_i$ возможна, если

$$\forall \tau_k \in T_i [\exists B_i(\tau_k) (B_i(\tau_k) \subset T_k^0)]; \quad (19.4)$$

$$\forall \tau_k \in T_i [\forall W_j(\tau_k) (W_j(\tau_k) \not\subset T_k^0)]. \quad (19.5)$$

Знак $\not\subset$ означает, что $W_j(\tau_k)$ не является подмножеством T_k^0 . Рассмотрим, например, операции установки узлов и панелей при сборке кессона центроплана (см. рис. 19.1). На последовательность установки элементов конструкции сборочной единицы в основном влияют условия базирования и доступа в зоне установки. Пусть кессон центроплана собирается в стапеле, имеющем рубильники π_6 , стапельную плиту π_7 и упоры π_9 (см. рис. 19.2). Номера элементов кессона соответствуют номерам операторов установки, т. е. τ_1 — оператор установки панели a_1 , τ_2 — оператор установки панели a_2 и т. д. Условия базирования определяются возможными составами сборочных баз (см. таблицу 19.1); условия доступа определяются следующими составами $W_j(\tau_k)$: для панелей $W_j(a_1) = W_j(a_2) = \emptyset$, так как их установке в любой последовательности другие элементы кессона не закрывают доступа; для лонжеронов и нервюр

$$W_j(a_3) = W_j(a_4) = W_j(a_5) = \dots = W_j(a_9) = (\tau_1, \tau_2),$$

так как после установки обеих панелей доступ для установки других узлов кессона закрыт. Поэтому последовательность установки $T_i = (\tau_1, \tau_3, \tau_4, \tau_2, \tau_5, \tau_6, \tau_7, \tau_8, \tau_9)$ невозможна, хотя условия базирования вида (19.4) здесь выполняется: имеются сборочные базы для всех элементов кессона, однако не выполняется условие вида (19.5) — закрыт доступ для установки нервюр. Возможной является последовательность установки $T_i = (\tau_1, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6, \tau_7, \tau_8, \tau_9, \tau_2)$, так как здесь условия (19.4) и (19.5) оба одновременно выполняются.

Условия базирования и доступа влияют не только на последовательность установки элементов изделия, но и на возможность

выполнения всех других операций сборки, связанных с применением какого-либо инструмента или оснастки, если между ними и элементами изделия в процессе выполнения операций должна существовать механическая связь.

Последовательность установки элементов изделия является основным фактором, влияющим на последовательность выполнения остальных операций сборки: клепка пакета осуществляется после установки склепываемых деталей, контроль качества сборки — после установки и соединения деталей и т. д. Влияние всех других факторов на последовательность выполнения всех операций сборки выражается через отношения вида (19.4)—(19.5).

Любая возможная последовательность выполнения сборочных операций может быть принята в качестве технологического процесса сборки, если при этом обеспечивается качество сборки изделия. Однако разным последовательностям операции соответствуют разные по величине технико-экономические показатели процесса сборки. Поэтому при проектировании из числа возможных выбирается оптимальная последовательность операций; критериями оптимизации могут служить трудоемкость, технологическая себестоимость, цикл сборки или другой показатель в зависимости от конкретных условий производства изделий. При этом используются формулы, аналогичные формулам для выбора оптимальной схемы базирования (см. § 2 данной главы), но более детальные по содержанию и учитывающие влияние последовательности выполнения операций на технико-экономические показатели сборки.

§ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Проектирование рабочего технологического процесса является завершающим этапом проектирования, на котором формируется технологическая документация — карты технологического процесса сборки изделия. При технологическом проектировании должен быть обеспечен максимальный уровень оптимизации и унификации технологических процессов и оснащения сборочных работ. В соответствии с современными требованиями организации технологического проектирования проектирование должно быть преимущественно автоматизированным и лишь при невозможности или нецелесообразности использования ЭВМ — неавтоматизированным, т. е. выполняемым традиционными методами, без использования средств вычислительной техники.

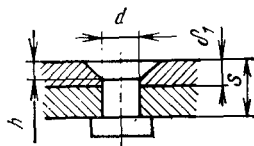
При неавтоматизированном проектировании рабочего технологического процесса технолог разрабатывает карты технологического процесса сборки, руководствуясь нормативными и справочными материалами — ГОСТами, РТМ, производственными инструкциями, справочниками и т. п. Анализируя чертежи изделия

и используя полученные ранее данные о схеме базирования и сборки, о конструктивной схеме сборочной оснастки и последовательности установки элементов сборочной единицы, технолог определяет состав и последовательность выполнения операций соединения, герметизации, контроля и т. д., а также выбирает необходимое оборудование, инструмент, оснастку и вспомогательные материалы. Все эти данные заносятся в карты технологического процесса сборки. Далее определяется требуемая квалификация (разряд работы) исполнителей-сборщиков и с помощью нормативов времени рассчитывается время выполнения операций сборки и соответствующие расценки для начисления заработной платы исполнителям-сборщикам. Выбор оптимальных решений при этом осуществляется на основании приближенных расчетов и опыта технолога с учетом конкретных условий производства.

Автоматизация технологического проектирования базируется на представлении закономерностей и связей между конструктивно-технологическими свойствами изделия и технологической системы в виде математических зависимостей, объединяемых в математические модели изделия и технологической системы. Эти зависимости отражают реальное содержание процессов производства, поэтому они необходимы не только при автоматизированном, но и при неавтоматизированном проектировании. При автоматизированном проектировании применяют типовые табличные, сетевые и перестановочные математические модели [2]. Табличные модели используются для поиска стандартных решений — типовых или групповых технологических процессов, типового состава оснащения и т. п.; сетевые модели используются для выбора унифицированных решений — вариантов технологических процессов, унифицированных по последовательности выполнения операций, различных вариантов оснащения и т. п.; перестановочные модели используются для получения индивидуальных проектных решений.

Рассмотрим типовые математические модели технологических операторов, используемых при проектировании технологических процессов. Табличная модель операторов представляет собой матрицу контуров, строки которой соответствуют операторам технологического процесса, а столбцы — контурам, характеризующим свойства изготавливаемого изделия. Порядок строк соответствует очередности выполнения операторов, каждому набору свойств $F(A_i)$ конкретного изделия A_i в данной табличной модели соответствует единственный технологический процесс T_i . Примером табличной модели является модель (рис. 19.4) операторов выполнения заклепочного соединения. Черный кружок на пересечении k -й строки и j -го столбца матрицы контуров означает, что элемент матрицы $c_{k(j)} = 1$, при этом оператор τ_k может быть использован для изготовления изделия с контуром F_j . Поиск технологического процесса по табличной модели сводится к определению строк матрицы, в которых контурам изделия соответ-

Рис. 19.4. Табличная модель операторов выполнения заклепочного соединения



Заклепки с потайной головкой	Заклепки с выступающей головкой				
	$d_1 < h; S \leq d$	$d_1 < h; S < 0.5d$	$d_1 \leq h; S > d$	$d_1 > h; S > d$	$d_1 > h$
F ₁					
F ₂					
F ₃					
F ₄					
F ₅					

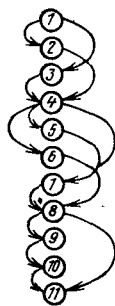
Сверление отверстия в каркасе	τ ₁				●	
Зенкование гнезда в каркасе	τ ₂					●
Сборка пакета	τ ₃	●	●	●	●	●
Сверление пакета	τ ₄	●	●	●	●	●
Зенкование гнезда в обшивке	τ ₅					●
Штамповка гнезда пуансоном	τ ₆		●			
Рассверливание пакета	τ ₇		●			
Вставка заклепки	τ ₈	●	●	●	●	●
Штамповка гнезда заклепкой	τ ₉			●	●	●
Образование замыкающей головки	τ ₁₀	●	●	●	●	●

Рис. 19.5. Сетевая модель операторов доводки кромок при установке листа обшивки:

а -- матрица контуров операторов;
б -- граф взаимосвязи операторов

Контур листа ($d \leq 2$ мм)	Контур листа ($3 \leq d \leq 4$ мм)
F ₁	F ₂

Установка листа для примерки	τ ₄	●	●
Разметка места доработки по шаблону	τ ₂	●	●
Разметка места доработки по линейке	τ ₃	●	●
Выемка листа из приспособления	τ ₄	●	●
Обрезка припуска ручными ножницами	τ ₅	●	
Снятие припуска пневмофрезой	τ ₆		●
Снятие припуска пневмощарашкой	τ ₇	●	●
Снятие припуска напильником	τ ₈	●	●
Зачистка заусенцев по кромкам	τ ₉		●
Нанесение грунта по кромкам	τ ₁₀		●
Установка листа окончательная	τ ₁₁	●	●

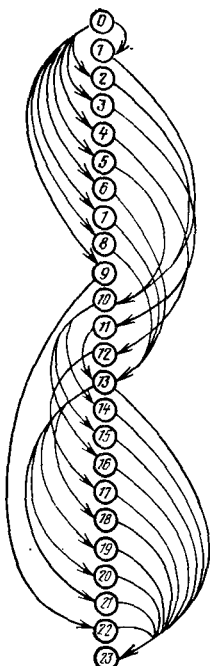


а)

б)

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
τ_0	●	●	●	●	●	●
τ_1	●	●				
τ_2	●	●				
τ_3	●	●	●			
τ_4	●	●	●			
τ_5	●	●				
τ_6	●	●		●		
τ_7					●	
τ_8	●	●				●
τ_9	●	●				
τ_{10}	●	●				
τ_{11}	●	●	●			
τ_{12}	●	●	●			
τ_{13}	●	●	●	●	●	●
τ_{14}						
τ_{15}	●	●				
τ_{16}	●	●				
τ_{17}	●		●			
τ_{18}	●			●		
τ_{19}	●	●		●		
τ_{20}	●	●				●
τ_{21}	●	●	●			●
τ_{22}	●	●	●			●
τ_{23}	●	●	●	●	●	●

а)



б)

Рис. 19.6. Сетевая модель состава технологической системы выполнения болтовых соединений:

a — матрица контуров; контуры: F_1 — отверстие $k \leq 8$ мм; F_2 — отверстие $d \geq 16$ мм; F_3 — отверстие седьмого качества; F_4 — контур положения болта; F_5 — контур положения шайбы; F_6 — контур положения гайки; операторы: τ_0 — исходный оператор; τ_1 — сверление; τ_2 — рассверливание; τ_3 — развертывание; τ_4 — протачивание; τ_5 — снятие фаски; τ_6 — установка болта; τ_7 — установка шайбы; τ_8 — установка гайки; τ_9 — кернение; τ_{10} — конечный оператор; элементы производственной системы: τ_{10} — сверло; τ_{11} — развертка; τ_{12} — протяжка; τ_{13} — слесарный инструмент; τ_{14} — пневмодрель СМ21-25; τ_{15} , τ_{16} — сверлильно-зенковальные устройства СЗВУ-А1 и СЗВУ-А2; τ_{17} — протяжное устройство ПУ-8; τ_{18} , τ_{19} — пневмоинструменты ПИВ-10 и ПИВ-16 для вставки болтов; τ_{20} , τ_{21} — пневмогайковерты ПБ21-180 и РИГ41-16; τ_{22} — пневмокернер КК-09М; б — граф смежности операторов и элементов технологической системы

ствуют значения $c_k(j) = 1$. Порядок найденных операторов τ_k в технологическом процессе соответствует их порядку в табличной модели.

Сетевая модель операторов включает в себя матрицу контуров табличной модели и граф взаимосвязи операторов, отражающий смежность и возможную очередность выполнения операторов (рис. 19.5). В сетевой модели для изготовления одного и того же изделия A_i с составом контуров $F(A_i)$ может существовать несколько вариантов технологических процессов, различающихся составом операторов. Проектирование технологического процесса по этой модели сводится к поиску пути в графе взаимосвязи операторов и далее к решению по матрице контуров вопроса о том, содержат ли все строки матрицы, соответствующие вершинам найденного пути, элементы $c_k(j) = 1$. Если таких путей несколько, то существует несколько вариантов технологических процессов и из их числа выбирается оптимальный вариант. Сетевые модели могут применяться и для выбора состава элементов технологической системы. Например, на рис. 19.6 приведена сетевая модель состава технологической системы выполнения болтовых соединений, по которой определяются варианты операций, инструмента

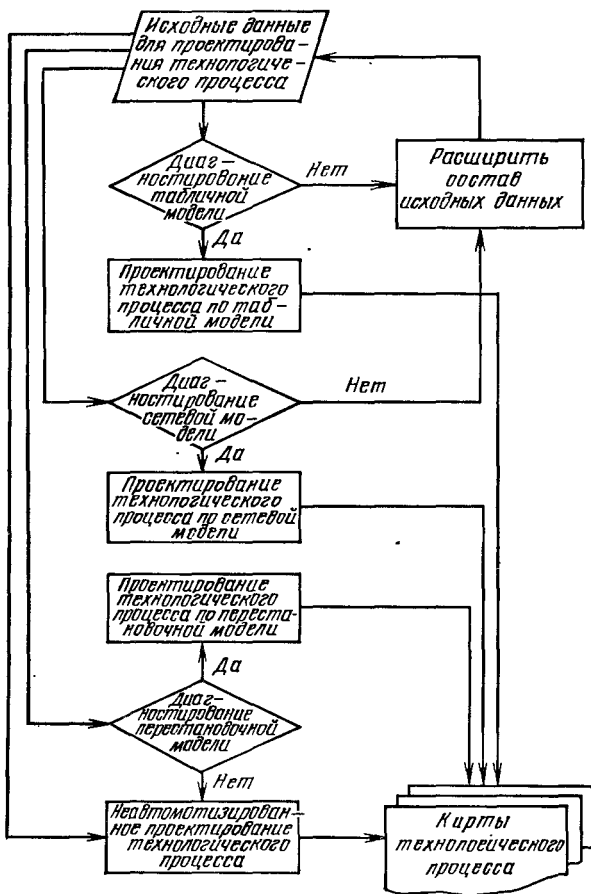


Рис. 19.7. Организация проектирования технологических процессов

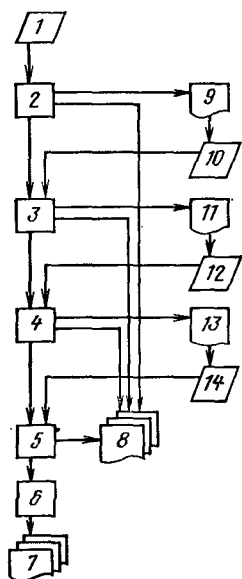
и оборудования, применяемые при выполнении различных болтовых соединений.

Перестановочные модели включают в себя матрицы контуров, аналогичные матрицам контуров табличных и сетевых моделей. По этим матрицам определяются составы операторов технологического процесса. Допустимая последовательность выполнения этих операторов вычисляется с учетом условий вида (19.5)—(19.4).

Для расчета технико-экономических показателей сборки (штучного и операционного времени, трудоемкости, технологической себестоимости и т. п.) в дополнение к табличным, сетевым и перестановочным моделям используются формулы и таблицы числовых значений величин, влияющих на эти показатели,

Рис. 19.8. Схема функционирования подсистемы сборочных работ в САПР:

1 — подготовка исходных данных; 2 — выбор схемы базирования; 3 — определение конструктивной схемы сборочного приспособления; 4 — определение последовательности установки элементов сборочной единицы; 5 — проектирование рабочего технологического процесса сборки; 6 — формирование технологической документации; 7 — печать документации; 8 — печать промежуточных результатов проектирования; 9 — варианты схем базирования; 11 — варианты конструктивных схем сборочных приспособлений; 13 — варианты последовательности установки; 10, 12, 14 — дополнение и изменение исходных данных



Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки при наличии типовых математических моделей осуществляется следующим образом (рис. 19.7):

диагностирование модели и автоматизированное проектирование сборки по табличной, а в случае невозможности — по сетевой или перестановочной модели;

если проектирование технологического процесса невозможно ни по табличной, ни по сетевой, ни по перестановочной моделям, то осуществляют неавтоматизированное проектирование.

Автоматизированное проектирование в САПР может охватывать различные этапы технологического проектирования [2]. Подсистема сборочных работ САПР функционирует следующим образом (рис. 19.8). В автоматизированном режиме, основанном на диалоге технолога с ЭВМ (блоки 1 — 14), за человеком остается право выбора оптимального варианта решения из числа возможных, полученных ЭВМ в конце каждого этапа проектирования. При этом можно в процессе проектирования изменять или дополнять исходные данные, а также изменять последовательность этапов проектирования на ЭВМ или исключать некоторые этапы, принимая решения без ЭВМ. В автоматическом режиме (блоки 1 — 8) проектирование осуществляется при неизменной последовательности всех этапов без вмешательства человека. Человек может лишь прервать проектирование и изменить начальные исходные данные для осуществления повторного проектирования с самого начала. Наиболее эффективным является автоматизированное проектирование в режиме диалога технолога с ЭВМ, так как этот режим позволяет использовать творческие возможности и опыт человека в сочетании с большой скоростью и точностью выполнения вычислений на ЭВМ.

**МОНТАЖ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЯ.
ОБЩАЯ СБОРКА. ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА**

Глава 20

**СБОРКА АГРЕГАТОВ ОБОРУДОВАНИЯ, МОНТАЖ
И ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И ОБОРУДОВАНИЯ**

§ 1. МЕХАНОСБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ

Механосборочные работы охватывают сборку и испытание агрегатов и узлов механического оборудования самолетов: органы взлета и посадки, органы управления самолетом и двигателями, катапультируемые сиденья, сбрасываемые фонари кабины пилота, а также пульта и щиты управления механизмами.

Механическое оборудование самолета по конструктивно-технологическим признакам может быть разделено на четыре основные группы.

Первую группу составляют силовые гидравлические агрегаты и агрегаты гидро- и пневмосистем: амортизационные стойки шасси, силовые гидроцилиндры, гидравлические демпферы, гидроприводы, редукционные, предохранительные, распределительные краны, краны управления гидро- и пневмоагрегатами.

Все эти агрегаты работают при больших давлениях, высокой степени герметичности уплотнений и должны надежно функционировать в любых эксплуатационных и температурных условиях в пределах, установленных техническими требованиями.

Собираются агрегаты из деталей, подвергающихся механической обработке с высокой точностью сопрягаемых размеров и высокой степенью чистоты поверхности.

Полная взаимозаменяемость обеспечивается применением системы допусков и посадок, принятой в общем машиностроении.

Сборка выполняется без каких-либо подгонок и не требует специальных сборочных приспособлений за исключением отдельных случаев.

Все агрегаты первой группы проходят полную программу испытаний до установки их на самолет на контрольно-испытательных стендах.

Во вторую группу входят такие агрегаты, как катапультируемые сиденья, сбрасываемые фонари кабины пилота, передняя и основные опоры шасси, установки спецоборудования и т. п., представляющие сложные механизмы.

Отличительными особенностями указанных агрегатов являются многодетальность и сложность конструкции, требования высокой

точности сборки и надежности их механизмов, отличающихся быстроедействием.

Все агрегаты связаны или с выполнением наиболее важных функций систем самолета, как например, взлет и посадка, или обеспечивают спасение жизни летного состава. Агрегаты данной группы собираются в специальных приспособлениях и требуют тщательного контроля в процессе сборки. Готовые агрегаты испытываются по установленной программе в различных температурных условиях.

Третья группа охватывает механизмы систем управления самолетом: ножные педали и штурвальные колонки, винтовые механизмы управления закрылками, шестеренчатые редукторы, трансмиссии вертолетов и т. п. Кроме общих требований прочности, к агрегатам третьей группы предъявляются требования плавной работы без люфтов и надежного функционирования в любых эксплуатационных условиях.

В конструкции механизмов широко используются штампованные и литые корпуса, сварные узлы. Большинство деталей и посадочные места под них в корпусах и сварных узлах подвергаются механической обработке. На такие детали и узлы распространяются требования полной взаимозаменяемости, соблюдения подвижных и неподвижных посадок в пределах, установленных техническими условиями, обеспечения заданных длин ходов, углов поворота и других кинематических параметров.

В ряде случаев эти требования выполняются введением в конструкцию агрегатов *подвижных и неподвижных компенсаторов*. Основное назначение компенсаторов — обеспечение требуемой точности замыкающего звена размерной цепи применением одного из звеньев с изменяющимися размерами. Такое звено позволяет погашать все отклонения (погрешности) в размерах остальных входящих в цепь звеньев.

Различают два класса компенсаторов: конструктивные и технологические. *Конструктивные компенсаторы* являются элементом конструкции и предусматриваются чертежами изделия. *Технологические компенсаторы* предусматриваются технологическими процессами и, как правило, не являются элементом конструкции изделия.

В производстве применяются следующие виды конструктивных компенсаторов:

- резьбовые соединения;
- телескопические соединения;
- гибкие соединения;
- сферические соединения;
- компенсационные уголки;
- компенсационные зазоры;
- сильфоны;
- прокладки (шайбы).

К технологическим компенсаторам можно отнести:

технологические припуски;
прокладки.

Существенным являются требования взаимозаменяемости по контактным поверхностям и крепежным отверстиям тех узлов механизмов, по которым они устанавливаются на самолет.

Большая часть указанных механизмов перед установкой на самолет испытывается на безотказность действия и проходит обкатку в различных температурных условиях.

Четвертая группа включает узлы коммуникаций механических систем управления: комплекты жестких тяг, промежуточные качалки, секторы, коробки роликов для тросов, направляющих роликов для тяг, комплекты тросов с соединительными элементами и т. п.

Узлы коммуникаций должны обеспечивать надежную передачу усилий от центральных органов управления самолетом и двигателями, а также управление отклонением рулей, элеронов, закрылков и синхронность действия жизненно важных агрегатов самолета: двигателей, шасси и т. п.

Для выполнения этих требований производится окончательное регулирование полностью смонтированных систем управления непосредственно на самолете, для чего в конструкции узлов широко применяются подвижные и неподвижные компенсаторы.

В соединениях узлов систем управления для уменьшения трения широко используются подшипники качения. В технологическом отношении сборка узлов систем управления характеризуется большим объемом слесарных работ: запрессовка подшипников, нарезание резьбы, закрепление наконечников и стаканов тяг заклепками.

Кронштейны для крепления качалок и других узлов должны подаваться на сборку с окончательно обработанными контактными поверхностями и с отверстиями под крепежные болты и винты.

Узлы механического оборудования можно также классифицировать по методам и средствам достижения точности их взаимного положения и надежности функционирования:

подбором;
пригонкой или регулировкой;
отладкой.

Общая схема классификации агрегатов механического оборудования по технологическим признакам приведена на рис. 20.1.

Наряду со специфическими требованиями в зависимости от их функционального назначения к агрегатам механического оборудования, входящим в эти группы, предъявляются требования и общего характера, а именно:

обеспечение при сборке точности расположения тех элементов, которыми они присоединяются к деталям основной конструкции;
обеспечение расположения привалочных (посадочных) поверхностей, по которым узлы соединяются с основной конструкцией в пределах заданных допусков;

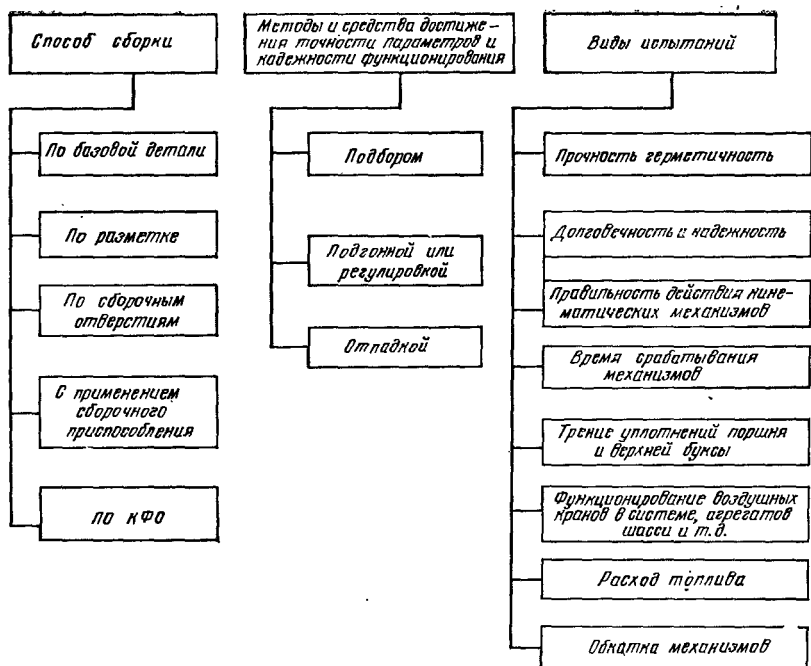


Рис. 21.1. Технологические признаки при сборке механического оборудования

обеспечение соблюдения характера посадок подвижных и неподвижных элементов, назначенных конструктором, исходя из условий работы конструкций;

обеспечение соблюдения диапазонов, назначенных длин ходов, перемещений, углов поворота и других кинематических требований;

обеспечение соблюдения назначенных усилий затяжки гаек и болтов и их контролки;

обеспечение возможного доступа с необходимым инструментом к соединениям и агрегатам механического оборудования для их проверки, замены или ремонта;

размещение узлов, агрегатов и систем должно быть таким, при котором съём одного из них для осмотра или замены не вызывает демонтажа расположенных рядом агрегатов.

Эти требования выполняются в большинстве случаев благодаря точной обработке подаваемых на сборку механически обработанных деталей.

Элементы узла, получаемые путем сварки, должны подаваться на сборку, как правило, с привалочными поверхностями и отверстиями, точно обработанными путем разделки их в специальных приспособлениях.

В тех случаях, когда обеспечить необходимую точность деталей трудно и экономически невыгодно, допускается пригонка

при сборке, выражающаяся в совместном сверлении и развертывании отверстий и снятии технологических припусков на плоских элементах путем припиловки, шабровки, притирки. Всякая ручная пригонка является трудоемкой операцией, нарушает работы по принципу взаимозаменяемости и ее необходимо избегать путем подбора деталей и применения различного рода компенсаторов.

Кинематические требования выполняют за счет введенных в конструкцию регулируемых элементов.

Необходимо предусматривать максимальную технологическую законченность узла, т. е. насыщенность его наибольшим количеством деталей, какие могут быть на нем установлены. Соблюдение этого требования обеспечивает возможность испытания и проверки узла как самостоятельной конструкции в удобных для контроля условиях и сокращает объем работ, производимых в условиях сборки последующих сборочных единиц и на общей сборке самолетов.

Сборка специфична процессами регулировки и отладки, обеспечения и проверки герметичности, контроля элементов по параметрам характеристики.

Отказы пневматических и гидравлических элементов нередко возникают из-за случайных попаданий во внутренние полости посторонних твердых частиц и загрязнений. Поэтому производство таких элементов организуется в специализированных цехах, помещение которых изолируется от других производственных участков. Детали и узлы хранят или транспортируют к месту сборки упакованными в специальную тару, с заглушками на всех отверстиях и штуцерах. В технологии предусматриваются специальные операции промывки и очистки рабочих полостей, очистки рабочего тела при заправке и другие меры, предупреждающие загрязнение изделия.

Расположение механического оборудования и бортовых систем в изделии должно исключать возможность попадания рабочей жидкости на аппаратуру и электрожгуты.

Расположение коммуникаций систем агрегатов определяется в основном типом самолета.

В последнее время получил распространение метод зонального расположения систем, так, например, зона гидравлики, зона энергетического оборудования, зона радио, зона систем кондиционирования и отопления и другие с использованием сборных монтажных панелей, что открывает широкие возможности параллельно-последовательного метода сборки и отладки систем.

Конструкция систем должна удовлетворять требованиям автоматизированного контроля без демонтажа оборудования. Следует предусматривать возможность контроля и испытаний систем или их участков в отдельных агрегатах.

В зависимости от масштабов производства и требований по обеспечению работоспособности собранных узлов и агрегатов

взаимозаменяемость может быть полной или неполной. Полная взаимозаменяемость предусматривает возможность сборки изделий без подгонки и доработки частей и деталей по месту и без непредусмотренной чертежами настройки, отладки, регулировки агрегатов.

В том случае, когда не обеспечиваются указанные требования, взаимозаменяемость является неполной.

Технологическая подготовка производства при полной взаимозаменяемости предполагает создание комплекса технологической оснастки, взаимоувязанной по всем сопрягаемым поверхностям. При неполной взаимозаменяемости увязка оснастки осуществляется только по основным параметрам.

Производство изделий по принципу взаимозаменяемости предполагает:

расчет допустимых отклонений размеров и параметров характеристики частей изделия, удовлетворяющих требуемой точности изделия и сборки его без доработки по месту;

использование наиболее рациональных процессов сборки и контроля, гарантирующих достижение предписанной точности и надежности работы изделия.

Агрегаты и узлы механического оборудования на самолет должны устанавливаться без подгонки и доработок мест их крепления. Для обеспечения взаимозаменяемости при монтаже систем механического оборудования на разных этапах сборки планера самолета выполняются работы по подготовке мест крепления кронштейнов под узлы и агрегаты этих систем.

В заготовительных цехах в стенках шпангоутов, нервюр, балок и диафрагм под тросовую проводку и жесткие тяги управления самолетом выполняются отверстия по соответствующим шаблонам. В дальнейшем при сборке шпангоутов, нервюр, балок и диафрагм детали с отверстиями устанавливаются по фиксаторам с базой на указанные отверстия и контур самолета.

Отверстия для крепления фланцевых фитингов, кронштейнов под качалки и узлы механического оборудования сверлятся в стенках шпангоутов, на полу кабины пилота и других элементах конструкции планера по кондукторам сборочных приспособлений при их сборке.

Кронштейны, узлы и агрегаты механического оборудования, сборочные базы которых связаны с основными самолетными базами — строительной горизонталью и плоскостью симметрии самолета, устанавливаются при сборке отсеков и агрегатов механического оборудования. Рассмотрим это на примере монтажа основной опоры шасси самолета в отъемной части крыла (рис. 20.2).

Узлы подвески траверсы 1, замка убранного положения шасси 2, силового гидроцилиндра подъема и выпуска опоры 3 и заданного подкоса шасси 4 устанавливаются на элементы конструкции отъемной части крыла 8 по макету шасси, точно воспроизводящему размещение всех указанных узлов.

Макет шасси базируется на специальные реперные площадки 5 и 6 сборочного приспособления 7. Для удобства сборки и выема ОЧК из сборочного приспособ-

собрания макет шасси проектируется съемным по плоскости разреза.

Для обеспечения взаимозаменяемости при монтаже шасси его макет отстыковывается и проверяется в процессе эксплуатации по инструментальному эталону отсека шасси ОЧК, имитирующему отсек шасси крыла со всеми узлами подвески и крепления его элементов. Узлы подвески и крепления шасси на стенде обработки его кинематики также выставляются по макету шасси.

При проектировании и изготовлении макета шасси допуски на все размеры, определяющие взаимозаменяемость, как правило, задаются

в пределах $\frac{1}{5} \dots \frac{1}{3}$ допуска от указанного в чертежах изделия. При этом в чертежах макета указывается, что он должен быть отстыкован с инструментальным эталоном ОЧК. Отстыковка производится путем установки макета шасси на ОЧК и протыкиванием всех сопрягаемых элементов высокоточными штырями (порядка Н7).

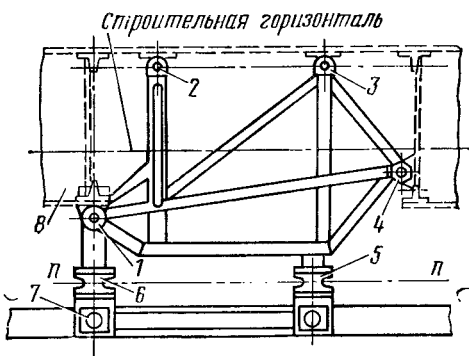


Рис. 20.2. Макет основной опоры самолета

§ 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Технологическим процессом монтажа называют установку и крепление элементов бортового оборудования и коммуникаций на планере самолета, а также соединение их между собой с последующим контролем их работы. Бортовое оборудование включает приборы, специальное оборудование, источники питания топливом и энергией, посадочные устройства, трубопроводы, электрожгуты, тросы, тяги и т. д.

Непрерывное совершенствование конструкций самолетов (вертолетов) и насыщение их многочисленными системами бортового оборудования привело к большой плотности оборудования на единицу объема планера. Так, например, на современном истребителе коэффициент насыщенности поперечного сечения (отношение суммарной площади поперечного сечения бортового оборудования к площади планера в том же сечении) достигает 80 ... 85 %.

Процент объема монтажных работ на разных типах самолетов зависит от назначения самолета, его размеров и состава оборудования.

Поэтому еще при проектировании бортового оборудования необходимо предусматривать:

максимальное завершение монтажных работ на панелях, отсеках и агрегатах самолета (вертолета). Бортовое оборудование должно быть разделено на конструктивные группы, объединенные общностью выполняемых функций. Каждая группа должна иметь свои принципиальные и монтажные схемы, сборочные и установочные чертежи, а также технические условия и инструкции;

применение автономного, панельного и зонального расположения бортового оборудования в агрегатах самолета;

широкое применение стандартизованных элементов, а также унификацию элементов конструкций;

обеспечение преемственности конструкции;

возможность максимальной механизации и автоматизации технологических процессов монтажей;

наибольшую независимость выполнения монтажных работ;

наличие свободных подходов к рабочим зонам при монтажных работах и контроле качества их выполнения.

В практике производства монтажные работы подразделяются на:

верстачные — по сборке и монтажу панелей;

агрегатные — по сборке и монтажу систем в агрегате;

общую сборку и монтаж систем.

В настоящее время трудоемкость монтажных работ составляет примерно 16 % общей трудоемкости изготовления самолета (вертолета). Монтажные работы имеют свои специфические особенности. Во-первых, в большинстве случаев бортовые системы монтируются в стесненных условиях. Во-вторых, агрегаты и приборы бортовых систем очень чувствительны к внешним механическим воздействиям и загрязнению, поэтому малейшая небрежность при транспортировке и монтаже может привести к нарушению их работоспособности. В-третьих, часто невозможно предварительно полностью собрать какую-либо систему бортового оборудования, так как элементы системы значительно удалены друг от друга. Эти особенности монтажа обуславливает необходимость особо четкой организации работ, возможно более высокой общей культуры труда и тщательного контроля качества выполнения всех монтажных операций.

Для обеспечения высокого качества и надежности бортового оборудования в серийном производстве самолетов (вертолетов) необходимо соблюдение следующих основных требований:

все системы бортового оборудования подвергаются конструктивно-технологической отработке на теоретических плазах (плоских и объемных), на действующих плазах, образующих отдельные функциональные и комплексные системы, и, наконец, на технологических агрегатах и головном самолете (вертолете). При этом проводят не только геометрическую увязку, но и функциональную обработку систем, методов и средств их контроля;

все комплектующие элементы бортового оборудования, приборы, материалы и полуфабрикаты подвергаются 100 %-му входному контролю;

определенные группы монтажных операций закрепляются за рабочими местами и исполнителями;

в процессе монтажа периодически контролируются технические характеристики оборудования, инструмента, контрольных и измерительных средств;

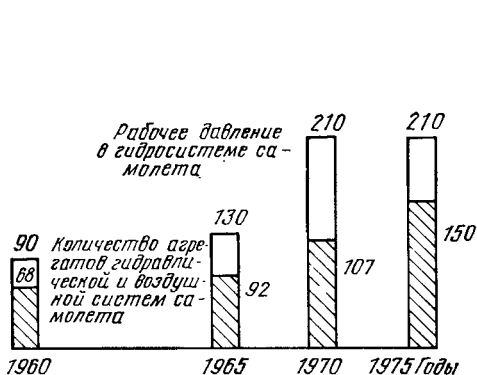


Рис. 20.3. Диаграмма усложнения гидравлических систем на самолетах

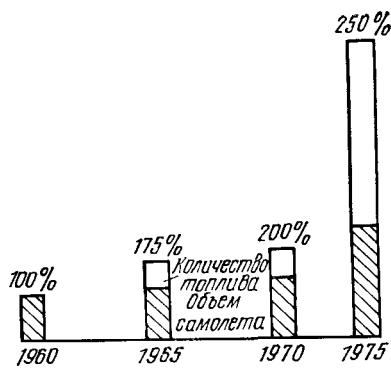


Рис. 20.4. Диаграмма роста объема самолетов и количества заливаемого топлива

смонтированные системы проходят выходной автоматизированный контроль в условиях, приближающихся к эксплуатационным, и тренировку для приработки отдельных элементов радио- и электрооборудования.

Кроме того, на головном и технологическом самолетах проводятся ресурсные испытания для определения работоспособности и долговечности бортовых систем.

Необходимость соблюдения перечисленных требований обуславливается постоянным усложнением конструкций самолетов, ужесточением режимов работы всех его систем и оборудования, что значительно усложняет задачу обеспечения требуемой надежности самолетов. На рис. 20.3 показаны повышение сложности оборудования и рост объема самолетов за последние годы.

Возрастание сложности самолетов сопровождается тенденцией к относительному и абсолютному уменьшению их объемов. Из рис. 20.4 видно, что рост числа оборудования и количества заправляемого топлива происходит при незначительном увеличении объема самолетов.

В понятие «надежность» кроме безотказности входят долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Под долговечностью понимается свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность характеризуется такими показателями, как средний ресурс, назначенный ресурс, средний ресурс до списания, средний срок службы, средний срок службы до списания и др.

Ремонтпригодность — это свойство объекта, заключающееся в приспособленности его к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания,

Ремонтопригодность характеризуется вероятностью восстановления объекта в заданное время и средним временем восстановления.

Свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования называется *сохраняемостью*.

Монтажные работы на панелях

В результате конструктивно-технологической обработки систем бортового оборудования самолета по зонам на плазах, эталонной машине или в объемном плазе удается создать большое количество монтажных панелей, которые объединяют различные приборы и элементы коммуникаций, находящиеся в одной зоне, в результате чего создают предпосылки для организации большинства монтажных работ по новой технологической схеме (рис. 20.5).

Принципиально новым в этом случае является то, что параллельно со сборкой агрегатов планера идет сборка зональных монтажных панелей вне агрегатов в специальных приспособлениях, отстыкованных с агрегатами.

При этом сотни элементов коммуникаций, электросистем удается собрать в несколько коммуникационных блоков, что позволяет значительно улучшить

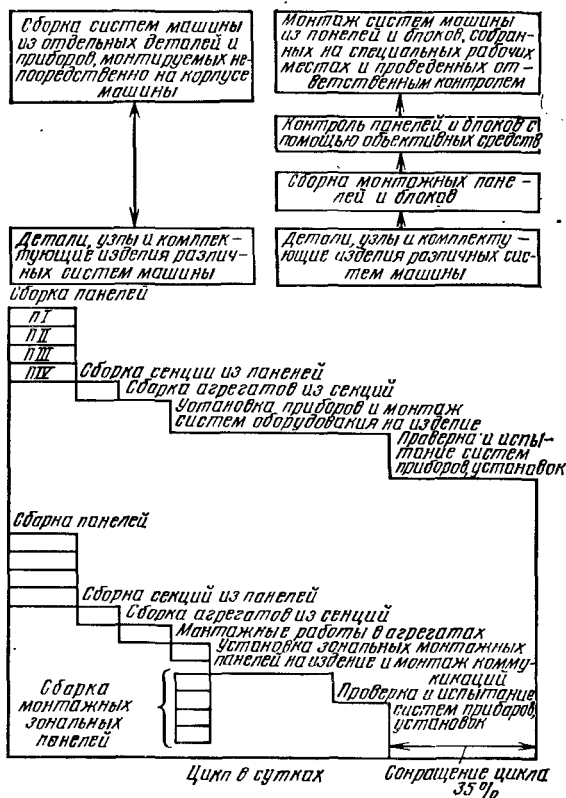


Рис. 20.5. Схемы и циклограммы сборки систем машины:

без панелирования (а) и с использованием монтажных панелей (б)

доступ к приборам, уменьшить число разъемов коммуникаций, упорядочить монтаж, сократить длину коммуникаций.

Обычно каждый прибор при монтаже ставится на собранную машину. Это удлиняет цикл, создает неблагоприятные условия для клепки, пайки и монтажа систем, засоряет объемы машины.

Зональные монтажные панели собирают на отдельных специально оборудованных рабочих местах с широким применением средств механизации и автоматизации. Собранную панель проверяют при помощи объективных средств контроля и только после этого устанавливают в машину. Панелирование создает также условия для механизации монтажных работ, которые до сего времени механизированы меньше, чем какие-либо другие.

Под *зональной монтажной панелью* понимается группа элементов системы, расположенных в данной зоне и объединенных в законченную конструктивно-технологическую сборочную единицу на общем основании (панели). Таким образом, цикловое время сборки зональных панелей не входит в общий цикл.

Полный цикл сборочных и монтажных работ, организованных с учетом сборки монтажных панелей, будет равен

$$Ц_{р. з. м} = Ц_{с. п} + Ц_{с. с} + Ц_{с. агр} + Ц_{м. агр}, \quad (20.1)$$

а общая трудоемкость этих работ определяется выражением

$$T_{р. з. м} = T_{с. п} + T_{с. с} + T_{с. агр} + T_{м. агр} + T_{м. з. п}, \quad (20.2)$$

где $C_{с. п}$, $T_{с. п}$ — цикл и трудоемкость сборки панелей; $C_{с. с}$, $T_{с. с}$ — цикл и трудоемкость сборки секций из панелей; $C_{с. агр}$, $T_{с. агр}$ — цикл и трудоемкость сборки агрегатов из секций; $C_{м. агр}$, $T_{м. агр}$ — цикл и трудоемкость монтажных работ в агрегате; $T_{м. з. п}$ — трудоемкость сборки зональных монтажных панелей.

Анализ показывает, что цикл монтажных работ по новой технологической схеме значительно сокращается. При этом улучшаются условия работы, и, как следствие, снижается трудоемкость. Предлагаемая схема технологического процесса монтажных работ требует изготовления специальной оснастки. Сверление в панелях сборочных отверстий для крепления приборов, хомутов и т. д. производится по специальным кондукторам, монтаж приборов, трубопроводов и других деталей на этих панелях ведется по приспособлениям. Благодаря удобным условиям работы вне самолета качество монтажей значительно выше, на 50 ... 40 % повышается и производительность труда.

Установка монтажных панелей на самолете также производится с большой точностью по специальным приспособлениям. Конструктивно они выполнены в виде удобных легких трубчатых пакидных размероносителей. Базируются эти приспособления обычно на части конструкции самолета, имеющие стабильные размеры и достаточную жесткость (стыковочные узлы, силовые шпангоуты и т. д.).

До настоящего времени степень оснащения монтажных работ при производстве самолетов крайне низка. Трудоемкость монтажных работ на современных самолетах-истребителях достигает 18 ... 20 % общей трудоемкости производства самолетов, а затраты на оснащение монтажных работ едва достигают 1,5 ... 2 % всех затрат, идущих на оснащение производства самолета.

Совершенствование технологии монтажных работ, проведенное на базе широкого зонального панелирования монтажей, позволяет повысить уровень механизации монтажных работ.

§ 3. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА МОНТАЖЕЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Насыщенность самолетных конструкций бортовым оборудованием и трудность подходов к нему при монтаже и эксплуатации, а также высокие требования к качеству и надежности работы

всех систем самолета требуют высокой технологичности их конструкции. Одним из способов повышения технологичности является предварительная плазово-шаблонная отработка монтажей бортового оборудования, т. е. определение наиболее выгодного с точки зрения обеспечения конструктивных и эксплуатационных факторов размещения агрегатов и коммуникаций систем, наименьшей длины трасс и минимального количества разъемов.

Плазовая проработка монтажей позволяет определить размеры и формы большинства элементов систем и мест сопряжения их с планером. Проработка конструкции на плазах позволяет добиться наиболее рационального размещения оборудования, приборов, коммуникаций и обеспечивает необходимые эксплуатационные зазоры.

С этой целью на плазы наносятся все агрегаты и элементы систем, включая оборудование и коммуникации (трубопроводы).

Следует иметь в виду, что построение таких плазов является не простой работой по увязке, а серьезным этапом творческой конструкторской разработки. Проработка систем на плазах имеет свои особенности, на которых следует остановиться.

С целью увязки с элементами планера и взаимной увязки вся бортовая аппаратура, в том числе и коммутационная, должна наноситься на плазы. Это дает возможность, кроме увязки, подготовить на плазах исходные данные для создания оснастки, обеспечивающей взаимозаменяемость при сборке всех элементов систем.

Плазовую увязку элементов коммуникации следует проводить обязательно в тех случаях:

а) когда элементы коммуникаций проходят через различные отверстия в элементах конструкции;

б) когда коммуникации проходят через сечения, сильно стесненные размещенным в них оборудованием.

При проведении плазовых работ по отработке бортовых систем основной задачей является определение наиболее выгодного размещения всех элементов систем, а именно: такого размещения, которое обеспечивает необходимые конструктивные и эксплуатационные зазоры как между элементами оборудования, так и деталями планера, обеспечивает наименьшую длину трубопроводов, необходимые удобства в эксплуатации и при монтаже в производстве.

Исходя из перечисленных задач конструктивно-технологическая проработка чертежей на плазах проводится в следующей последовательности:

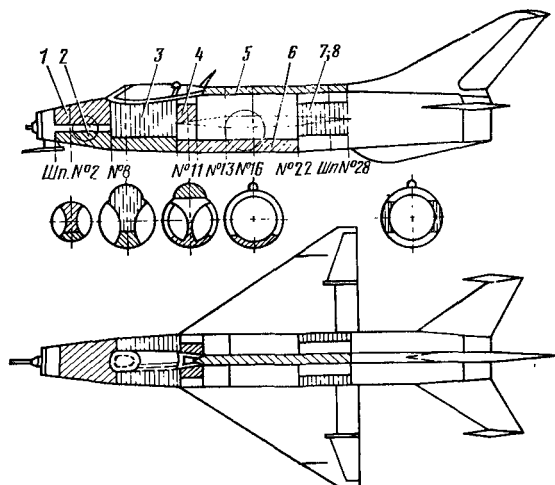
расчерчивание теоретических обводов и элементов конструкции планера;

расчерчивание кинематических схем управления различными агрегатами самолета;

расчерчивание агрегатов и блоков оборудования и трасс электрической, гидравлической и других систем самолета;

Рис. 20.6. Деление самолета на зоны:

1 — отсек радиооборудования; 2, 6 — отсеки оборудования; 3 — кабина пилота; 4 — отсек энергоузлов; 5 — верхний грот; 7, 8 — отсеки оборудования двигателя



отработка на плазах расположения всех элементов коммуникаций с обеспечением необходимых эксплуатационных подходов, зазоров и технологичности монтажей.

В зависимости от конструктивно-технологических особенностей изделия, насыщенности оборудования тех или иных его отсеков самолет делится на зоны (рис. 20.6).

Работы по конструктивной отработке чертежей систем в каждой зоне часто производятся комплексными бригадами, состоящими из конструкторов-плазозавиков, конструкторов серийно-конструкторского отдела и представителей ОКБ.

Для плазовой проработки систем используются основные контурные плазы, при необходимости вычерчиваются дополнительные проекции и сечения.

Для ускорения работ расчерчивание оборудования и вся последующая увязка производится на винипрозе, а там, где это возможно — на основных плазах.

На винипрозе копируются контуры сечений и необходимые конструктивные элементы планера, а также баки для горючего, контуры двигателя с его оборудованием и другие элементы самолета, попадающие в рассматриваемое сечение. После этого по чертежам и схемам производится размещение оборудования со всеми разъемами и учетом их перемещений при амортизации и необходимых зазоров.

Тяги и рычаги управления на плазах наносятся в среднем и крайних отклоненных положениях, а в необходимых случаях проверяются зазоры и в промежуточных положениях, во всех случаях добиваются требуемых безопасных зазоров. Такая плазовая проработка расстановки оборудования и элементов управления позволяет выявить в чертежах неувязки и внести уточнения в чертежи.

После расстановки оборудования и элементов управления наносятся трубопроводы большого сечения (более 18 мм) и основные крупные электрожгуты. Одновременно намечаются наиболее рациональные трассы для прокладки этих магистралей, при этом необходимо учитывать удобства монтажа трубопровода и присоединения его к штуцерам агрегатов.

При разработке технологии монтажных работ, ведущейся параллельно с плазовыми работами, необходимо обратить внимание на выбор баз, относительно которых должны фиксироваться агрегаты, соединенные трубопроводом. Базы назначаются совместно конструктором СКО, конструктором приспособлений и технологом-монтажником.

Выбранные базы должны обеспечить точное взаимное размещение блоков и приборов, расположенных близко друг к другу, и сохранение зазоров со смежными элементами конструкции.

Размещение нескольких блоков, агрегатов и приборов на общей панели позволяет наиболее точно зафиксировать их взаимное расположение. Когда по условиям компоновки невозможно разместить агрегаты на общей панели, особое значение приобретают базы, относительно которых задаются установочные координаты. В каждом отдельном случае базу нужно выбирать, исходя из фиксации положения блоков друг относительно друга и с учетом колебаний размеров на установку элементов корпуса.

Проверка функционирования и уточнение физических параметров систем на действующих плазах-стендах

В самолете, кроме геометрической взаимозаменяемости, точности размеров элементов магистралей, расстановки приборов и оборудования, необходимо обеспечить физическую взаимозаменяемость системы -- качество ее функционирования.

Функциональная взаимозаменяемость или идентичность качественных и количественных характеристик функционирования систем определяется ее параметрами, поэтому степень взаимозаменяемости может быть задана допусками на эти параметры. Для проверки функционирования и уточнения физических параметров систем целесообразно создавать действующие плазы систем и объемные стенды для испытаний наиболее важных участков отдельных систем. Действующие плазы электросистемы и гидросистемы и стенды управления, изготовленные для некоторых самолетов, полностью себя оправдали. С помощью этих действующих плазов выявлен ряд ошибок в чертежах и принципиальных схемах электросистемы и гидросистемы.

Как показывает опыт, в ходе серийного производства ведется непрерывное улучшение и модификация самолета, вводятся новые готовые изделия и потребители энергии. Для качественной проработки чертежей необходимо предстоящие изменения в схемах предварительно проверить на плазе, для этого все изменения

схемы необходимо своевременно производить на плазе. Если схемы для самолетов разных серий отличаются друг от друга, плаз должен иметь ответвления, каждое из которых характеризует тот или иной серийный вариант.

Действующие стенды и плазы отдельных систем могут быть использованы для предварительных ресурсных испытаний систем. Это позволит выявить недостаточно надежные агрегаты оборудования еще задолго до сборки первого самолета. При этих испытаниях участки магистралей систем будут отличаться от участков магистралей будущего самолета только по длине и конфигурации.

Как бы тщательно ни была проведена увязка на плазах и на действующих стендах, окончательная отработка сложных пространственных элементов всех систем должна быть проведена на технологическом отсеке и в крайнем случае — на первом образце.

Технологический самолет, эталонные отсеки, объемный плаз. Окончательная объемная конструктивно-технологическая отработка монтажей систем оборудования по зонам

Благодаря большой наглядности при отработке технологического самолета удастся изыскать еще более простые решения по компоновке приборов и монтажу элементов коммуникаций: сократить число соединений, повысить эксплуатационные качества за счет обеспечения надлежащих зазоров, подходов, создать монтажные панели и блоки, выявить ошибки в чертежах и технологии. Следует отметить, что объем работ по конструктивно-технологической отработке систем на технологическом самолете или отсеке в случае предварительного проведения плазовой увязки значительно снижается.

Решение о постройке технологического самолета, отсека или выделении первого самолета для объемной конструктивно-технологической отработки принимается в зависимости от степени насыщения самолета всевозможным оборудованием, а также от особенностей монтажа. Критерием здесь может служить коэффициент насыщенности сечения, равный отношению суммы площадей сечения, занятых оборудованием, к общей свободной площади сечения (рис. 20.7). Коэффициент насыщенности площади сечения определяется по формуле

$$Y_{н.с} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i \text{ об}} + \sum_{j=1}^k S_{j \text{ комм}}}{S_{\text{сеч}} - (S_{\text{возд}} + S_{\text{дв}} + S_{\text{топл}} + S_{\text{констр}})} \cdot 100\%, \quad (20.3)$$

где $S_{\text{сеч}}$ — площадь сечения, см^2 ; $\sum_{i=1}^n S_{i \text{ об}}$ — площадь, занимаемая оборудованием, см^2 ; $\sum_{j=1}^k S_{j \text{ комм}}$ — площадь, занимаемая коммуникациями, см^2 ; $S_{\text{возд}}$, $S_{\text{дв}}$, $S_{\text{топл}}$, $S_{\text{констр}}$ — площади, занимае-

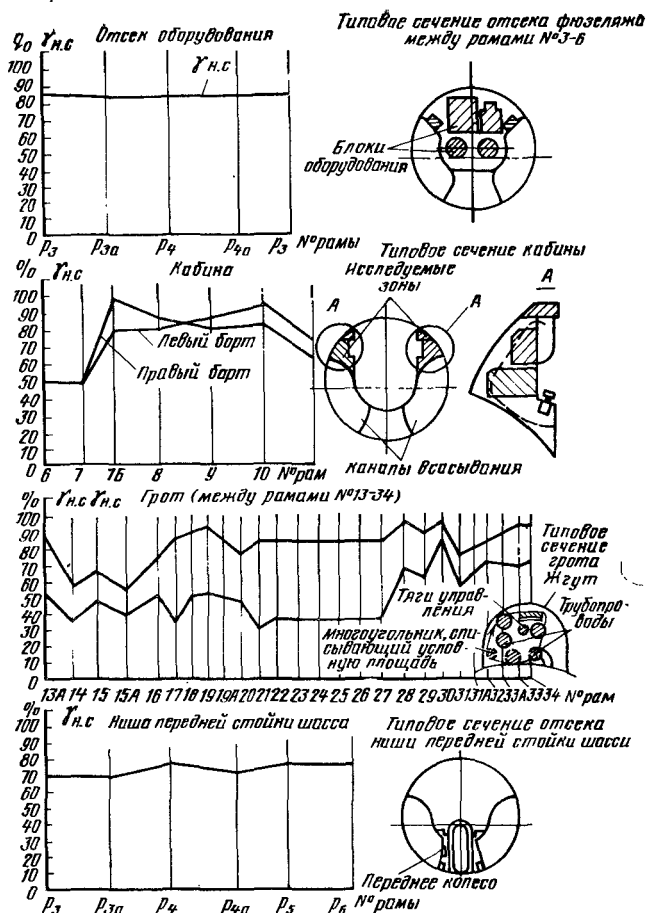


Рис. 20.7. Диаграммы $V_{н.с.}$ для различных сечений самолета

мые воздухозаборниками, двигателем, емкостями для топлива, элементами конструкции, см².

При коэффициенте насыщенности сечения, равном или большем 80 %, как показывает опыт, необходимо монтажи систем обработать на технологическом самолете или в объемном плазе. Когда объем самолета занят оборудованием неравномерно, можно строить не технологический самолет, а технологические отсеки. Технологический самолет или отдельные отсеки изготавливаются по серийным чертежам.

Размеры деталей, узлов технологического самолета должны строго соответствовать чертежам, поскольку самолет собирают на оснастке первой очереди (минимально необходимой), то для строгого соблюдения геометрических размеров должны быть при-

пяты специальные меры такие, например, как приемка деталей, помимо контролеров, еще и конструкторами, плазсвиками и т. д.

Для сокращения сроков сборки технологического самолета можно в виде исключения использовать материалы-заменители для изготовления некоторых деталей.

При сборке технологического самолета все должно быть подчинено максимальному сокращению сроков и обеспечению высокой точности геометрических размеров; вопросы прочности, массы и т. д. в этом случае могут быть отодвинуты на второй план. Следует широко использовать восстановление испорченных при изготовлении деталей подваркой, склейкой и т. д. — все это позволит собрать технологический самолет на 2 ... 3 месяца раньше, чем первый серийный самолет.

Отработка монтажей систем на технологическом самолете производится также по зонам.

Для своевременного выявления всех неувязок, для отработки оснастки и деталей сборки самолета и отдельных его отсеков производится комплексными бригадами, состоящими из технологов, конструкторов по приспособлениям, конструкторов серийно-конструкторского отдела и плазово-шаблонного цеха, работников ОТК и рабочих.

Собранные агрегаты самолета передаются другим комплексным бригадам, которые проводят окончательную конструктивно-технологическую отработку бортовых систем. Комплексные бригады создаются для выполнения работ по каждой зоне.

В практике отечественного самолетостроения для отработки конструкции планера и монтажа систем самолета применяются:

технологический самолет;

объемный плаз;

1-й образец (эталонная машина).

По мере отработки монтажей и технологического самолета изготавливаются эталоны всех элементов систем, требующих эталонирования (труб, электрожгутов, коллекторов и т. д.), которые в дальнейшем используются при изготовлении всей заготовительной, монтажной и контрольной оснастки.

Многие детали монтажных панелей оказывается целесообразно эталонировать, используя монтаж на эталонной машине как основное средство увязки.

Эталоны труб изготавливают непосредственно из труб или из специальных элементов.

По геометрическим параметрам и арматуре эталон представляет собой первую деталь, по которой определяют размеры и конфигурацию серийных деталей. Эталон трубы служит также техническим средством для изготовления и проверки по нему контрольной и рабочей оснастки. Отработку эталонов труб проводят на самолете или на отдельных агрегатах при полном насыщении зоны.

При монтаже в гидрогазовых системах возникают монтажные напряжения. Для того, чтобы избежать возникновения напряжений, следует обеспечить постоянство мест крепления приборов, оборудования и арматуры, к которым присоединяются трубопроводы. Кроме того, положение хомутов и колодок крепления, а также геометрические параметры трубопроводов, арматуры и других деталей систем должны быть стабильными.

Установленная на агрегатах планера арматура должна быть проверена по размерам и направлению. Детали и кронштейны под крепление приборов и оборудования, к которым подсоединяют трубопроводы, необходимо устанавливать на агрегатах планера только при помощи оснастки, а бортовое оборудование — по специальным приспособлениям, фиксаторам, в сборочной оснастке или по сборочным отверстиям. После крепления деталей и кронштейнов к элементам планера необходимо освободить их от фиксаторов оснастки и в свободном состоянии проверить прилегание плоскостей и положение отверстий. Для обеспечения соосности деталей и кронштейнов по плоскостям с фиксаторами оснастки следует применять компенсирующие прокладки.

Компоновку арматуры с приборами следует проверять по расположению арматуры относительно установочной плоскости приборов и отверстий их крепления. Для этого в технологическом процессе применяют комплектовочно-контрольные приспособления.

Приборы и трубопроводы целесообразно монтировать на специальных монтажных панелях. Концы трубопроводов и арматуры на время монтажа панели закрепляют фиксаторами приспособлений.

После окончания монтажных работ на панели проверяют положение концов трубопроводов и арматуры, для чего освобождают эти концы и подводят к ним фиксаторы: допустимая несоосность концов трубопроводов с фиксаторами приспособления $\pm 2,0$ мм, а арматуры — $\pm 1,0$ мм. Собранную панель прикрепляют к элементам каркаса планера.

Разъемы коммуникаций на стыках агрегатов планера должны быть взаимозаменяемы и выполняться по калибрам. На агрегатах планера базой для установки калибров являются стыковые узлы. Монтаж трубопроводов ведется от фиксаторов калибра. Разъемы коммуникаций должны фиксироваться калибрами без напряжения. Последовательно проверяют положение разъемов коммуникаций, для чего расфиксируют разъемы и подводят фиксаторы калибров к свободным разъемам; при этом допускается несоосность штуцеров $\pm 1,0$ мм, а концов трубопроводов — $\pm 1,5$ мм.

Так как отработка монтажей на эталонной машине может быть проведена за 2 ... 3 месяца до начала монтажных работ на первых серийных самолетах, то удается избежать значительных потерь на отработку эталонов труб, жгутов и т. д., неизбежных при отработке монтажей на первом серийном самолете.

Наличие эталонных монтажей на технологическом самолете способствует быстрому освоению монтажных работ рабочими, так как имеется возможность в натуре посмотреть и изучить предстоящие работы.

Основным недостатком технологического самолета является недостаточная точность геометрических размеров агрегатов планера и связанные с этим трудности эталонирования монтажей. Поэтому для увязки геометрических форм и размеров деталей планера и оборудования целесообразно применять объемные плазы.

Объемный плаз (рис. 20.8) представляет собой жесткий имитатор внутренней поверхности агрегатов самолета, состоящий из жесткого стального полого каркаса, металлических, вырезанных по шаблонам, ложементов, устанавливаемых в зоне осей рам и эпоксипластовой облицовки поверхности.

Работы на объемном плазе ведутся в два этапа работниками плазово-шаблонного цеха с привлечением специалистов заготовительных цехов, цехов агрегатной сборки и цеха окончательной сборки. На первом этапе производится проверка и отработка всех деталей каркаса, деталей и узлов управления, деталей и узлов крепления агрегатов оборудования.

На втором этапе обрабатываются и эталонируются трубопроводы, электрожгуты и другие трудноизмеряемые узлы и детали.

По результатам обработки монтажей проводятся соответствующие уточнения в чертежах. Отработка в плазовом цехе позволяет оперативно проводить уточнение плазов, шаблонов и заготовительной оснастки. Законченные монтажи разбирают, детали окрашивают в красный цвет и раздают в заготовительные цехи для доработки заготовительной оснастки и изготовления кондукторов для сверления сборочных отверстий. Эталоны трубопроводов, электрожгутов служат для палатки приспособлений при последующем их изготовлении.

Применение объемного плаза как средства обработки монтажей в настоящее время считается прогрессивным, так как позволяет в плазово-шаблонном цехе выполнить все работы по обеспечению высокого качества деталей, оперативно ввести изменения в первичные средства увязки (плазы и шаблоны) и начать сборку агрегатов самолета в агрегатно-сборочном цехе из отработанных деталей по сборочным отверстиям с применением минимального количества сборочной оснастки.

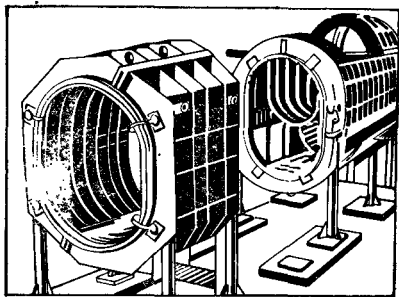


Рис. 20.8. Объемный плаз фюзеляжа самолета

Следует отметить, что в объемном плазе отработку монтажей необходимо проводить по зонам с тем, чтобы облегчить решение задачи панелирования монтажей.

Другим важным направлением совершенствования технологических процессов монтажа систем и оборудования самолетов является улучшение монтажа гидрогазовых систем. Опыт эксплуатации самолетов показывает, что около 30 % всех рекламаций приходится на трубопроводные системы.

Поэтому надежность трубопроводных гидравлических, газовых и топливных систем в значительной степени определяет надежность самолета в целом. Гидрогазовые системы предназначены для выполнения таких жизненно важных функций как управление самолетов, управление взлетно-посадочными устройствами, аварийное управление, подача топлива и т. д. Наиболее часто встречаются следующие основные виды неисправностей гидрогазовых и топливных систем:

- разрушение трубопроводов в зоне изгиба, в местах их крепления и соединений, а также в местах развальцовки и пайки;
- разрушение соединительной арматуры и деталей из труб из-за металлургических пороков;
- негерметичность соединений трубопроводов и агрегатов;
- загрязненность гидравлических и топливных систем.

Многие детали из труб в период эксплуатации находятся под воздействием высоких нагрузок, возникающих от давления пульсирующего потока рабочей жидкости, вибрации, температурных, монтажных и эксплуатационных деформаций, и вследствие этого большинство отказов и неисправностей трубопроводных систем происходит в результате негерметичности и разрушения элементов системы.

Поэтому качеству изготовления элементов и монтажа трубопроводных систем должно быть уделено особое внимание. На пути решения этой задачи стоит ряд значительных трудностей:

- очень большая номенклатура деталей из труб и большое количество соединений;
- большое разнообразие конфигураций труб;
- высокие требования к точности труб и деталей арматуры и расхождения в допусках на детали и монтаж трубопровода и элементы планера, на которых трубопровод монтируется.

Большая номенклатура и большое разнообразие конфигураций труб затрудняют механизацию процесса гибки, а механизированная гибка труб, как известно, дает более высокое качество, в частности обеспечивает незначительную эллипсность сечения трубы в месте изгиба.

В результате трубопроводы, кроме эксплуатационных нагрузок от воздействия давления, вибрации, температуры, испытывают дополнительные нагрузки из-за монтажных напряжений. Как правило, существуют допуски для изготовления и монтажа элементов систем. Последние зависят от усилий, прикладываемых

при затяжке пакидных гаек, от производственных отклонений по точности изготовления трубы и места ее установки на изделии (рис. 20.9).

Задавшись величиной допустимых монтажных напряжений, можно определить предельные деформации трубопровода при монтаже и на этой основе разработать систему допусков на трубы, места их установки и классифицировать трубы по группам точности.

Исследования по изучению влияния различных производственных отклонений элементов трубопроводных систем на их усталостные характеристики и герметичность соединений создали условия для разработки системы допусков на производство и монтаж трубопроводных систем. Группа точности определяется условиями работы (пульсация жидкости, вибрации и т. п.), жесткостью труб (длина, форма, марка материала, диаметр) и жесткостью опор.

Аналізу по определению принадлежности к группе точности подвергаются следующие элементы трубопроводных систем и места их установки на изделии:

элементы систем, от геометрических размеров которых зависит взаимозаменяемость труб при монтаже;

крепежные детали, предназначенные для размещения элементов систем и входящие в конструктивные группы гидро-, пневмо-, топливных систем;

места установки арматуры на гидро-, пневмо-, топливных агрегатах и емкостях;

места установки арматуры, гидро-, пневмо-, топливных агрегатов, емкостей и крепежных деталей на планере.

При наличии на элементе трубопроводной системы нескольких отводов для подсоединения труб для каждого из них определяется своя группа точности. Определяющим фактором при выборе группы точности являются: группа точности устанавливаемого элемента системы, если он изготовлен по индивидуальному чертежу и не унифицирован для разных типов изделий; группа точности трубопровода при установке нормальных или унифицированных деталей; наивысшая группа точности одного из нескольких отводов для труб. Группа точности элемента системы и места его установки определяются конструктором с указанием в чертеже на элементы системы и в чертеже на установку аналогично классам точности в общем машиностроении.

Серийные детали из труб по длине и конфигурации должны соответствовать эталону трубопровода. Величина допустимых



Рис. 20.9. Вид отклонения трубки от номинальных размеров

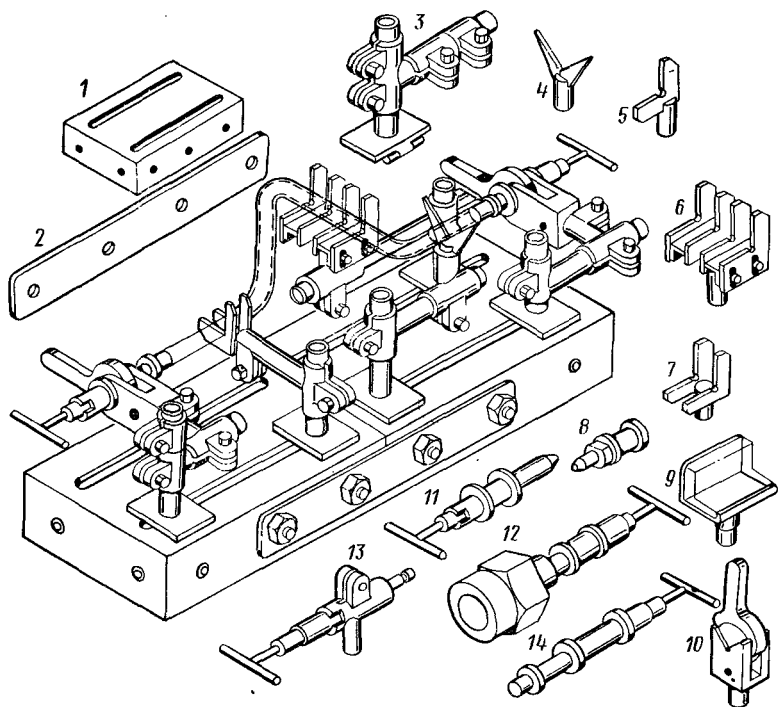


Рис. 20.10. Универсально-сборное приспособление для изготовления и контроля деталей из труб по первой группе точности

отклонений по данным параметрам определяется группой точности на изготовление детали из труб.

Контроль деталей из труб по первой группе точности производится в оснастке, копирующей рабочее положение детали на изделии, т. е. с базой на резьбовые фиксаторы (рис. 20.10), от которых и ведется контроль конфигурации.

Контролируется эксцентриситет детали и длина трубы. Замер эксцентриситета детали производится методом поочередного закрепления накидной гайкой к фиксатору одного конца трубы и проверки положения свободного конца относительно фиксатора.

Для замера длины трубы один фиксатор нужно установить в нормальное положение и закрепить трубу, а второй перемещать до сопряжения с конусом развальцовки. При другом виде заделки перемещать второй фиксатор до сочленения с торцом детали. Величину отклонения длины труб любого диаметра проверить по минусной шкале фиксатора.

Контроль деталей из труб по второй группе точности производится в оснастке с базой на конфигурацию трубы.

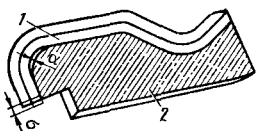


Рис. 20.11. Схема контроля деталей из труб по второй группе точности:

1 — контролируемая труба; 2 — макет

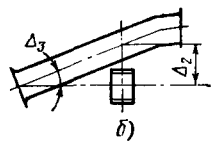
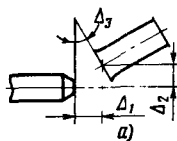


Рис. 20.12. Схема простых неточностей, возникающих при монтаже свободного конца трубопровода (а) и промежуточного участка (б)

Одновременно контролируется торец трубы по торцу приспособления, как показано на рис. 20.11.

Контроль деталей из труб по третьей группе точности производится визуально методом сопоставления шаблона с деталью. В этом случае допуски еще больше, чем те, которые установлены для второй группы точности.

Изменение поперечного сечения и уменьшение толщины стенки в зоне изгиба является одной из главных причин, по которым снижаются усталостные характеристики детали и возникают разрушения трубопровода в местах изгиба и в соединениях.

Контроль поперечного сечения деталей из труб производится по овальности, гофрообразованию и уменьшению толщины стенки.

Система допусков регламентирует и монтажные неточности, складывающиеся из неточностей деталей трубопроводов и отклонений мест соединения трубопроводов со штуцерами агрегатов. Система допусков рассматривает как простые неточности (рис. 20.12), так и сложные, определяемые как совокупность простых неточностей.

Нормы на монтажные неточности для прямых и близких к ним стальных трубопроводов для примера представлены на рис. 20.13.

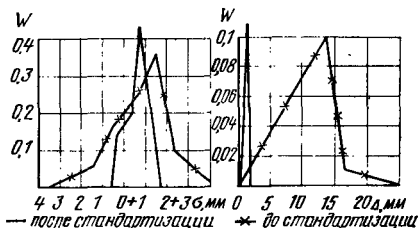
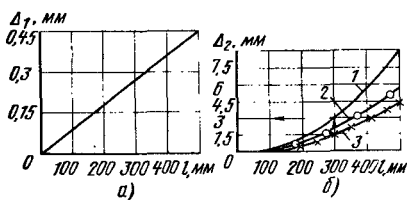


Рис. 20.13. Зависимости допустимых монтажных неточностей от длины стальных трубопроводов различных диаметров. Размеры трубопроводов 1— 8×6 мм; 2 — 12×10 мм; 3 — 16×14 мм

Рис. 20.14. Кривые отклонения деталей из труб от номинальных размеров

Примечание. 1—1 — для участка трубопровода между местами крепления

На шишельных соединениях трубопроводов угловая неточность выбирается за счет самоустановки деформации развальцованной части трубы. Поэтому не оговаривается величина перекаса для контроля при монтаже. Контроль угловой неточности производится при изготовлении труб по универсально-сборочным приспособлениям.

При рассмотрении и анализе системы допустимых отклонений выяснено, что технологический уровень для труб I группы точности составляет 21 % деталей, для труб II группы точности — 28 %, для труб III группы точности — 51 %.

Разработка системы допусков на изготовление элементов и монтаж трубопроводных магистралей позволяет повысить качество и надежность гидрогазовых систем за счет снижения монтажных напряжений.

Для обеспечения заданных допусков на изготовление и монтаж трубопроводов применяется технологическая и контрольная оснастка, которая подразделяется на следующие группы:

- оснастка для изготовления и контроля деталей из труб;
- оснастка для изготовления и контроля арматуры;
- оснастка для правильного расположения арматуры в механо-сборочных цехах;

сборочная оснастка для сборки емкостей, монтажных панелей, установки крошштейнов и других элементов планера;

установочная оснастка для размещения и контроля положения панелей, агрегатов, арматуры и деталей крепления на самолете; калибры для установки и проверки выводов коммуникаций трубопроводов в зонах технологического членения изделия.

Классификация деталей бортового оборудования по группам точности позволяет широко применить в технологическом оснащении стандартизованные элементы, обеспечивающие однообразие установки на всех этапах производства, и типовые технологические процессы изготовления элементов и монтажа трубопроводных и других систем самолета.

Типовой технологический процесс изготовления труб осуществляется с использованием универсально-сборочных приспособлений (УСП). Это позволяет обеспечить более высокую точность особенно по местам стыков. По типовому технологическому процессу для межоперационного и окончательного контроля труб изготовлены приспособления из стандартизованных элементов.

Внедрение стандартизованной оснастки дает возможность значительно повысить точность изготовления деталей.

На рис. 20.14 показаны отклонения от номинальных размеров трубопроводов по длине и конфигурации в зависимости от применяемой оснастки.

При изготовлении деталей из труб старым методом отклонения по длине δ доходят до ± 4 мм, а отклонение по конфигурации Δ — до ± 25 мм. Кроме этого наблюдаются отклонения по направлению раструба конца трубы до 10° .

Изготовление и контроль деталей из труб по типовой технологии в универсальных приспособлениях позволили сократить разброс по σ до $\pm 0,8$ мм и по Δ до 2 мм.

В зависимости от группы точности труб определяется точность других элементов гидрогазовых систем и установка их на планере с учетом конструктивно-эксплуатационного назначения данного элемента. Это позволяет определить фактическую требуемую точность каждого элемента и средства ее достижения, позволяет найти величину допустимых отклонений в зависимости от количества звеньев размерной цепи и распределить общий допуск по отдельным элементам. В этом случае можно определить, на каком этапе цикла сборки планера наиболее выгодно, с точки зрения обеспечения точности, выполнять ту или иную операцию.

Точность мест подсоединения трубопроводов достигается системой допусков, конструктивно-технологической обработкой монтажей плазово-эталонным методом, созданием эталонных монтажей, применением тщательно увязанной и отстыкованной сборочной и монтажной оснастки, наличием компенсаторов в элементах конструкций планера и трубопроводных систем.

На монтаж и контроль трубопроводных систем также разрабатываются типовые технологические процессы. При разработке этих технологических процессов исходят из группы точности деталей трубопроводов, конструкции соединения, места расположения данного элемента в магистрали и других факторов.

§ 4. МОНТАЖ, КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АГРЕГАТНЫХ ЦЕХАХ

Все отсеки или агрегаты (фюзеляж, крыло, гондола двигателя и др.) самолета должны поступать на монтаж полностью законченными, т. е. должны быть выполнены сверлильные, сборочно-кленальные, сварные и другие работы, установлены кронштейны и крепежные узлы. Отсеки или агрегаты должны быть очищены от производственных отходов, а их внутренняя поверхность защищена антикоррозионным покрытием (анодирована, загрунтована, окрашена и т. д.).

Требования к поступающим на сборку элементам бортового оборудования

Все детали и комплектующие изделия бортового оборудования, поступающие на сборку, должны пройти 100 %-ный входной контроль.

Визуально проверяют комплектность тяговых и тросовых устройств системы управления, а также нет ли повреждений покрытия, ржавчины, забоин, царапин и завершенности прядей. Тросы до заплетения концов на коуш или заделки в наконечники испытывают на растяжение. Проверяют геометрическую форму деталей из труб и нет ли на внешней и внутренней поверхностях трубы механических повреждений.

В электропроводах для монтажа электро- и радиосистем проверяют прочность изоляции, сечение провода и его проводимость. Электрогрозуты проверяют

на правильность сборки, прочность соединений и отсутствие замыкания между проводами. Измеряют сопротивления изоляции и переходных сопротивлений в соединениях. Проверяют правильность функционирования электрооборудования, время срабатывания, измеряют ток.

Кроме 100 %-го входного контроля проводят выборочный контроль нескольких изделий из партии по более расширенной программе.

Поступающие на монтаж узлы, жгуты, трубопроводы, детали крепления и т. п. должны быть взаимозаменяемыми. Трубопроводы и арматура, поступающие на сборку, должны быть предварительно тщательно очищены внутри, визуально проверены, закрыты заглушками и опломбированы. Не допускаются к монтажу жгуты и кабели с поврежденным покрытием или экранирующей оплеткой.

Монтаж системы управления

Многие элементы системы управления устанавливаются, регулируются и проверяются в агрегатных цехах. В агрегатах планера монтируются тросовые и жесткие проводки управления самолетов и двигателем, устанавливаются ролики, качалки, кронштейны и направляющие, прокладываются тросы и тяги, которые затем подсоединяются и проверяются. В кабине пилота монтируются педали ножного управления, ручки, штурвалы, колонки и тяги.

Монтажные работы в агрегатах планера и на элементах конструкции выполняются в соответствии с эталонами, по кондукторам, при помощи приспособлений и по шаблонам, отработанным в процессе проработки монтажей и взаимоувязанным со стапельной и другой оснасткой планера самолета. Монтировать разрешается только детали и агрегаты, параметры которых соответствуют требованиям чертежа и техническим условиям на их изготовление и сборку.

Все сверлильные работы для крепления элементов системы управления должны быть выполнены перед прокладкой тяг, так как наличие стружки может привести к заклипыванию тяг в направляющих. Независимо от условий монтажа детали системы управления (краны, насосы, цилиндры, колонки, педали, кронштейны и качалки) должны подаваться из механосборочных и других цехов с окончательно обработанными поверхностями и отверстиями.

Тросы и тяги для монтажа должны подаваться после проверки комплектно. Механические детали (стаканчики, вилки, втулки), комплектующиеся с тягами, должны быть проверены до сборки с ними. В заготовительных цехах тросы предварительно испытывают на растяжение, заплетают концы тросов на коуш или заделывают в наконечники, собирают их с тандерами или роликами, проверяют, нет ли завершенности пряжей, следов коррозии и в таком виде поставляют на монтаж в агрегатные или сборочные цехи.

При монтаже деталей системы управления необходимо проверять плотность прилегания их посадочных мест к элементам планера. В крепежных отверстиях при сверлении не по кондук-

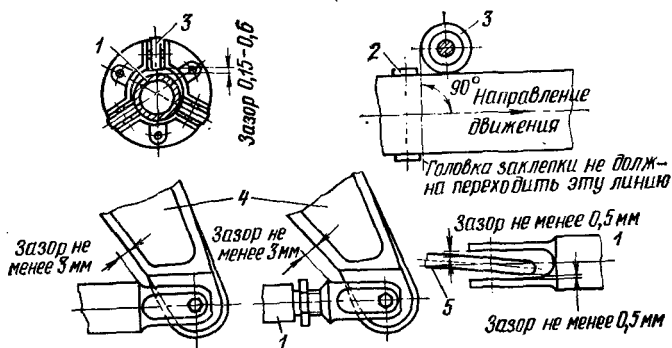


Рис. 20.15. Монтажные зазоры в элементах тяговых устройств:

1 — тяга; 2 — головка заклепки; 3 — ролик; 4 — качалка; 5 — ухо качалки

тору или шаблону, а по разметке наблюдаются перекосы. В этих случаях в технологическом процессе на монтаж деталей предусматривают установку клиновидных прокладок. После установки и соединения тяг необходимо убедиться в наличии зазоров между подвижными частями системы управления и элементами конструкции. В трехроликовых направляющих (рис. 20.15) тяги не должны заедать; при отжатии тяги к двум роликам между петой и третьим роликом должен быть зазор 0,15 ... 0,6 мм.

Трубчатые заклепки крепления наконечников тяг не должны при движении тяг упираться в ролики; между рычагами и тягами при крайних положениях должны быть минимальные зазоры. Если сборка и соединение тяг с другими деталями системы управления выполнены без напряжения и деформации, то тяги, движущиеся в направляющих или висящие свободно, будут соосны. Соосность проверяется при крайних отклонениях рулей и элеронов в агрегатных цехах и на общей сборке (рис. 20.16). В качестве гибких проводов применяют тросы марки КСАН (канат стальной авиационный нераскручивающийся) диаметром 2,5, 3,5 и 4,5 мм. При прокладке и подсоединении тросов ось троса должна совпадать с плоскостью

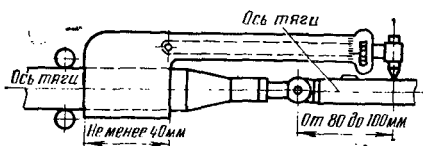


Рис. 20.16. Схема приспособления для проверки соосности тяг

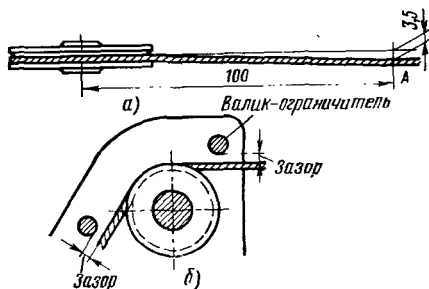
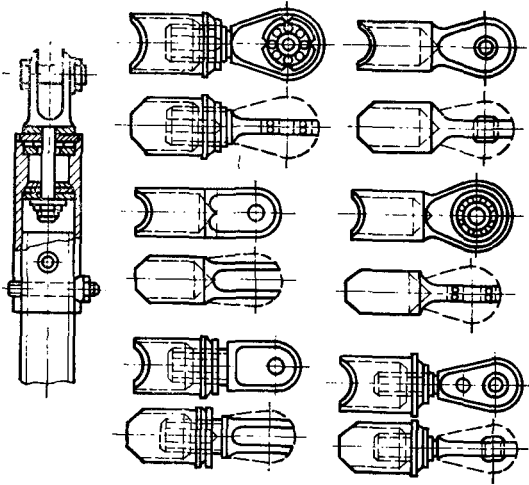


Рис. 20.17. Проверка перекоса и зазоров тросовой проводки:

а — определение перекоса троса; б — определение зазора

Рис. 20.18. Соединительные узлы тяговых устройств



симметрии ролика; перекос троса в точке схода его с ролика не должен быть более 2° . Для определения перекоса трос оттягивают в точке А (рис. 20.17), находящейся на расстоянии 100 мм от точки схода его с канавки; при отжиме троса до 3,5 мм ось должна совпадать с плоскостью симметрии канавки. Зазоры между тросами и ограничительными валиками, стоящими в обоймах роликов, должны находиться в пределах 0,15 ... 2,5 мм в зависимости от диаметра троса (рис. 20.17, б). Между деталями конструкции или оборудования, расположенными на расстоянии 100 мм от точки схода троса с ролика, должен быть зазор не менее 2 мм, а все подвижные и вращающиеся детали должны находиться от тросов на расстоянии не менее 3 мм. При выходе тросов из боуденовских оболочек перекосы не допускаются; предохранительные трубки тросов должны иметь плавные изгибы. Все тросовые проводки при монтаже должны быть натянуты с таким расчетом, чтобы при охлаждении они не слишком натягивались, а при повышении температуры не провисали.

Система управления регулируется подбором (изменением) длины тяг, для чего на концы тяг установлены наконечники с резьбой (рис. 20.18). При регулировании тяг длина навинченной резьбовой части регулируемых наконечников должна иметь предельный размер. Для контроля длины навинченной части в стаканчиках тяг имеются специальные отверстия. Шпилька, вставленная в контрольное отверстие, должна упираться во ввернутый в стакан наконечник. Если наконечник ввернут на недопустимо малую величину и шпилька не упирается в наконечник, необходимо перерегулировать всю систему управления. При необходимости можно установить наконечник тяги с более длинной резьбовой частью. При регулировании определенной системы управления

устапавливают в правильное положение не только крайние звенья цепи, но и все промежуточные.

Технологический процесс монтажа элементов и прокладки коммуникаций системы управления состоит из часто повторяющихся операций и переходов. Для сокращения трудоемкости операций используют типовые процессы — технологические стандарты, которые содержат массовые, повторяющиеся операции и переходы, наименования и шифры применяемых инструментов, приспособлений, таблицы нормативов штучного времени. Эти процессы составлены в последовательности выполнения переходов.

Изготовление и монтаж гидрогазовых систем

Технологию изготовления трубопроводов выбирают в зависимости от назначения и условий их работы (температуры, пульсирующих нагрузок, гидравлических ударов, вибраций).

Основными операциями технологического процесса являются: гибка, развальцовка и разбортовка труб. Форму торцов труб контролируют регулируемым угломером или способом двух шариков, прибором для измерения толщины стенки конусной части раструба и при помощи контрорливок.

Полная взаимозаменяемость деталей трубопровода возможна при:

соосности конуса развальцованной части трубы и самой трубы;

соответствии длины трубы эталону по точке сопряжения со штуцером;

соответствии конфигураций трубы и эталона.

Для выполнения этих условий разработаны различные универсально-сборочные приспособления, копирующие рабочее положение трубопроводов на самолете. У приспособлений основной базой при проверке детали служит конус развальцованной части трубы, подтянутый к фиксатору, имитирующему штуцер на самолете, от которого ведется контроль геометрии трубы.

После контроля геометрических форм все трубы испытываются на прочность и герметичность. Перед испытанием внутреннюю полость трубы продувают струей чистого сухого сжатого воздуха под давлением 0,15 ... 0,20 МПа в течение 15 ... 20 с для удаления посторонних частиц. Затем трубы промывают в течение 5 ... 10 с спиртом-ректификатом или бензином, подаваемым под давлением. На контрольном фильтре с никельсаржевой сеткой в 15 мкм не должно быть механических включений. Сразу же после промывки и сушки на концы трубопроводов надевают технологические заглушки или полиэтиленовые пленки и ставят личное клеймо или пломбу исполнителя. Из существующих методов испытаний трубопроводов на прочность и герметичность наиболее широкое распространение получили приведенные в табл. 20.1.

Метод испытания	Контрольная среда	Индикация утечки	Объем испытания
Гидростатический	Масло АМГ-10 или 7-50С-3	Отпотевание поверхности трубопровода, пятна масла на фильтровальной бумаге	1. Трубопроводы гидросистемы. 2. Трубопроводы всех систем (кроме гидравлической и кислородной) при давлении более 2 МПа
Гидростатический	Вода с 2 %-ным раствором хромпика $K_2Cr_2O_7$	Отпотевание поверхности трубопровода	Трубопроводы всех систем (кроме гидравлической) при давлении более 2 МПа
Гидростатический	Эмульсия	То же	Трубопроводы всех систем (кроме гидравлической и кислородной) при давлении более 2 МПа
Пневмогидравлический (в ванне с водой)	Воздух или азот	Пузырьки воздуха или азота в воде	Трубопроводы всех систем (кроме гидравлической и кислородной) при давлении менее 2 МПа
Пневматический	То же	Пузырьки воздуха или азота в мыльной эмульсии	Трубопроводы кислородной системы — проверка герметичности
Галоидный (течеискатели ГТИ-3 и ВАГИ-4; метод шупа)	Смесь фреона с воздухом или азотом	Отклонение стрелки прибора и звуковой сигнал при выделении паров фреона	Трубопроводы топливной и масляной систем
Гелиевый (течеискатель ПТИ-6; метод шупа)	Смесь гелия с воздухом или азотом	Отклонение стрелки прибора и звуковой сигнал при попадании в массспектрометр гелия	Трубопроводы всех систем (кроме кислородной и гидравлической). Применяется при особо высоких требованиях к степени герметичности

В качестве пробного вещества может применяться аэрозоль. При этом, если в состав аэрозоля входит фреон, то наиболее подходящим методом контроля является галогенный.

Монтаж гидрогазовых систем включает установку механизмов (силовых цилиндров, рулевых машинок, дросселей) и крепление их к каркасу планера; монтаж трубопроводов и соединение их между собой и с механизмами; предварительный контроль наружной геометрии соединений трубопроводов; монтаж емкостей; регулирование систем и механизмов. Для стабильности качества монтаж следует выполнять в строгом соответствии с чертежами и техническими условиями на данную серию.

При монтаже гидрогазовых систем необходимо соблюдать следующие технологические требования.

Все поступающие на монтаж трубопроводы должны пройти 100 %-ный входной контроль.

Перед установкой трубы должны быть продуты сухим очищенным воздухом. Все соединения должны быть опломбированы, а свободные концы трубопроводов закрыты заглушками.

Заглушки или колпачки разрешается снимать с трубопроводов непосредственно перед монтажом.

При прокладке и креплении трубопроводов должны быть обеспечены: соосность внутренних каналов без натяга и напряжения соединяемых элементов; зазоры между трубопроводами и деталями конструкции; прочность крепления и отсутствие зазоров в местах крепления трубопроводов; соответствующие радиусы изгибов трубопроводов.

Для соединения трубопроводов необходимо применять тарированные ключи, так как недотяг соединений приводит к негерметичности, а перетяг — к деформации и срыву резьбы.

Расположение трубопроводов должно быть удобным для чтения маркировки и клейм ОТК.

При монтаже гидрогазовых систем в агрегатных цехах гидроагрегаты расконсервируют в соответствии с указаниями в их паспортах; зачищают и устанавливают переключки металлизации; устанавливают агрегаты и емкости при помощи оснастки, обеспечивающей постоянство их мест при монтаже. Монтируют трубопроводы, закрепляя их на штуцерах агрегатов. Если монтажные источники (недотяг или несоосность) лежат в допустимых пределах, магистрали продувают, смазывают резьбу и окончательно затягивают накидные гайки. Затем устанавливают гибкие шланги и рукава, конрят и пломбируют механизмы, элементы крепления, ниппельные и фланцевые соединения. Проводят контроль качества монтажей; при 100 %-ном контроле проверяют:

наличие зазоров между трубопроводами и элементами конструкции, между механизмами и элементами планера, между трубопроводами, электрожгутами и гибкими шлангами;

соответствие выполненного монтажа принципиальным и монтажным схемам;

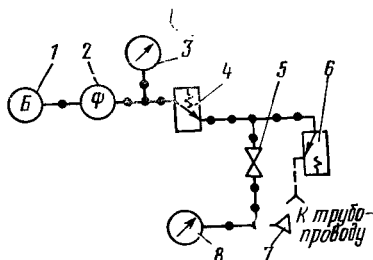


Рис. 20.19. Принципиальная схема стенда продувки трубопроводов: 1 — баллон; 2 — фильтр-отстойник; 3, 8 — манометры; 4, 6 — редукторы; 5 — вентильный кран; 7 — зарядный штуцер

нет ли механических повреждений (смятия стенок трубопроводов и люфта в элементах крепления);

наличие бирок и маркировок.

Собранные пневмосистему, противопожарную, противообледенительную, масляную и топливную системы продувают воздухом. Кислородную систему продувают чистым азотом в агрегатно-сборочных цехах по отдельно смонтированным участкам до их подсоединения к агрегатам и готовым изделиям, чтобы избежать

дополнительного кольцевания системы. Панели с гидроагрегатами и трубопроводами в агрегатных цехах воздухом не продувают, так как эту операцию выполняют в процессе сборки панели на верстаке. Продувку выполняют от баллона сжатого воздуха через стенд продувки (рис. 20.19) то с одного, то с другого конца трубопровода до полного удаления загрязнений. Чистоту внутренних полостей продуваемых систем контролируют при помощи фильтро-элементов или салфеток. Гидросистемы промывают жидкостью, для чего рабочие фильтры заменяют технологическими и обратные клапаны и дроссели — технологическими переходниками. Промывают систему по участкам (для исключения из промываемой системы гидроагрегатов с повышенной чувствительностью к загрязнению) или проводят ее кольцевание. При кольцевании оба конца трубопровода участка гидросистемы (или гидросистемы в целом) соединяются через насосную станцию промывочного стенда (рис. 20.20). Насосная станция принудительно подает промывочную жидкость, которая, циркулируя, очищает гидросистему от загрязнений.

При промывке гидросистемы скорость движения жидкости должна быть выше рабочей в 1,5 ... 2 раза; давление жидкости должно быть равно сумме гидросопротивлений промываемого трубопровода и стенда и не должно превышать рабочего; температура жидкости должна быть не выше 80 °С; время промывки в зависимости от длины промываемого трубопровода должно быть не менее 20 ... 35 мин, а для особо ответственных систем — не менее 1 ч. Окончательно чистоту гидросистемы контролируют в лаборатории, подсчитывая при помощи автоматического счетчика или под микроскопом осевшие твердые частицы в пробе, взятой из гидросистемы. Гидросистема считается чистой, если в 100 см³ пробы моющей жидкости загрязнений содержится не больше, чем указано в табл. 20.2.

Все собранные трубопроводные системы проверяют на герметичность в агрегатных цехах на несостыкованных отсеках и агрегатах или в цехе общей сборки на полностью собранном самолете. В последнем случае герметичность контролируют перед отработкой систем на функционирование. Герметичность гидросистем в основном контролируют методами, указанными в табл. 20.1,

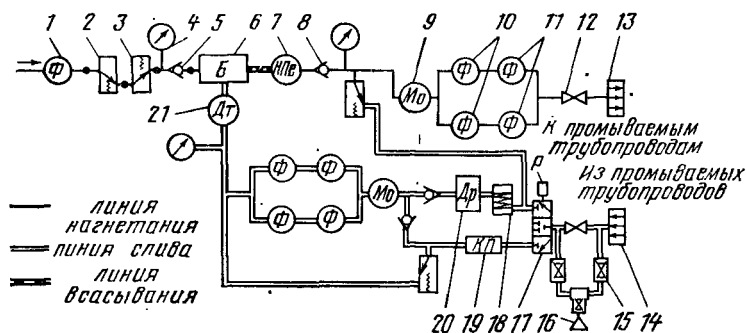


Рис. 20.20. Принципиальная схема стенда промывки трубопроводов:

1 — фильтр-отстойник; 2 — воздушный редуктор на 50 ат; 3 — воздушный редуктор на 1,5—2 ат; 4 — манометр; 5 — обратный клапан; 6 — бак; 7 — гидронасос; 8 — предохранительный клапан; 9 — магнитный очиститель; 10 — фильтр с тонкостью фильтрации 12... 15 мкм; 11 — фильтр с тонкостью фильтрации 5... 7 мкм; 12 — вентильный кран; 13 — коллектор линии нагнетания; 14 — коллектор линии слива; 15 — разъемный клапан; 16 — место отбора проб; 17 — трехходовой кран; 18 — масловоздушный радиатор; 19 — место установки оптического фильтра или прибора; 20 — датчик расхода; 21 — датчик температуры

При гидростатическом методе систему заполняют рабочей жидкостью под давлением и выдерживают определенное время.

Герметичность гидросистемы проверяют визуально по наличию или отсутствию капель на поверхности элементов соединений или на фильтровальной бумаге. При обнаружении течи давление в системе сбрасывают до нуля и подтягивают накидные гайки соединений или заменяют трубопровод. После устранения течи повторяют проверку герметичности.

При пневматическом методе контроля герметичности систему заполняют воздухом или азотом под избыточным давлением, наносят на проверяемые места мыльную эмульсию и в течение определенного времени наблюдают за появлением воздушных пузырьков в мыльной эмульсии. Перед контролем герметичности все трубопроводные системы должны быть продуты воздухом (за исключением кислородной). Для предохранения трубопроводных систем от заполнения их влажным воздухом необходимо проверить работоспособность силикагелевого патрона, смонтированного на стенде.

На рис. 20.21 показана принципиальная схема универсального стенда для контроля герметичности, в котором предусмотрены две отдельные контрольные системы — он может работать от

Таблица 20.2

Размер частиц, мкм	От 5 до 10	От 10 до 25	От 25 до 50	От 50 до 100	Свыше 100 и волокна
Число частиц, не более	800	20	10	5	1

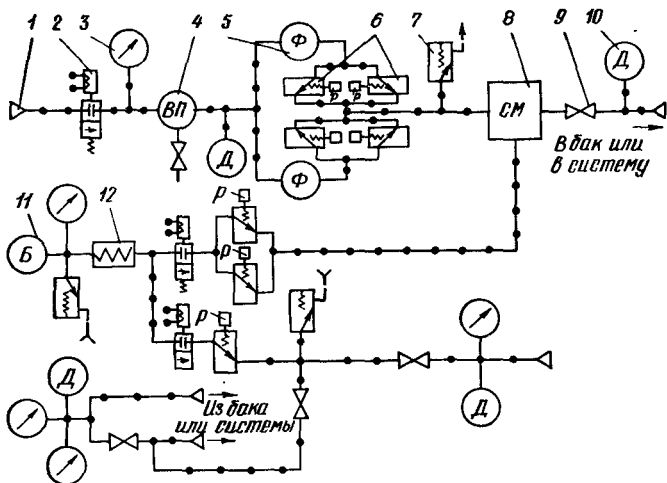


Рис. 20.21. Принципиальная схема универсального стенда для контроля герметичности трубопроводных систем пневматическим методом:

1 — зарядный штуцер; 2 — электропневмокран; 3 — манометр; 4 — влагоотделитель; 5 — воздушный фильтр; 6 — воздушный редуктор; 7 — редуктор с предохранительным клапаном; 8 — смеситель; 9 — вентиль; 10 — датчик давления; 11 — баллон с фреоном; 12 — радиатор

воздушной и фреоновой смесей. Для контроля герметичности топливных отсеков в агрегатных цехах используют стенд (рис. 20.22) с применением метода «щупа» (последовательное перемещение щупа течеискателя по проверяемым местам). В этом случае в качестве контрольной среды используют фреон.

При монтаже трубопроводов разрешается пользоваться только чистым хромированным, омедненным или вороненым инструментом. При монтаже кислородной системы применяется хромированный или никелированный инструмент, который перед началом работы протирают чистым бензином и обдувают сжатым воздухом.

При соединении и креплении трубопроводов применяют слесарный инструмент — гаечные ключи, отвертки, плоскогубцы, пломбир, специальные радиусные ключи и т. д. Для зачистки мест под металлизацию применяют шарошки и металлические щетки, а для зачистки трубопроводов — наждачную бумагу. Для замера недотяга и несоосности используют щупы, линейки и штангенциркули.

Для стыковки трубопроводов по разъемам агрегатов планера в станеле требуются всевозможные приспособления, обеспечивающие постоянство мест разъема трубопроводов. При постановке штуцеров на агрегаты используют шаблоны или приспособления. При помощи оборудования для расконсервации осуществляют подогрев гидро-, пневмоагрегатов и промывку их в бензине.

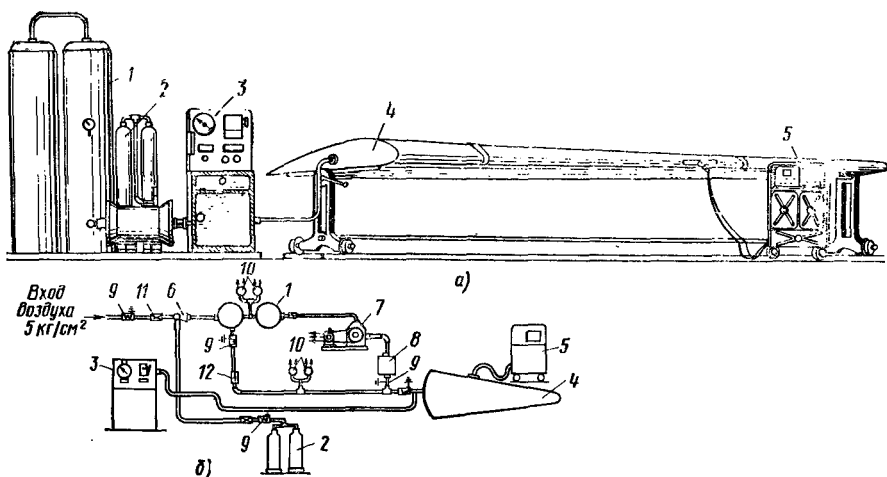


Рис. 20.22. Общий вид (а) и принципиальная схема (б) стенда для проверки герметичности трубопроводных систем:

1 — сборник воздушно-фреоновой смеси; 2 — баллоны с фреоном; 3 — пульт управления; 4 — контролируемые отсеки; 5 — стенд ПГШ-1; 6 — смеситель; 7 — вакуум насос; 8 — вакуум камера; 9 — электроклапаны; 10 — манометрические датчики (рабочий и аварийный); 11 — редуктор давления; 12 — обратные клапаны

При монтаже трубопроводных систем пользуются переносными лампами, а для топливных баков и кислородных систем применяют источники света во взрывобезопасном исполнении.

Монтаж электро- и радиосистем

Монтаж электро- и радиосистем заключается в заблаговременной установке по приспособлениям, кондукторам и шаблонам крепежных элементов (кронштейнов, хомутов, полочек), в изготовлении и прокладке жгутов и кабелей, в непосредственном монтаже и проверке оборудования и агрегатов, включая готовые изделия и аппаратуру.

При монтаже электро- и радиосистем необходимо соблюдать следующие технологические требования:

1. Все блоки и жгуты, поступающие на монтаж, должны пройти 100 %-ный входной контроль.

2. Разъемы во время монтажа должны быть закрыты заглушками или целлофаном и опломбированы.

3. Заглушки с электроразъемов разрешается снимать непосредственно перед монтажом или прозвонкой жгутов на изделии.

4. Монтаж должен обеспечивать прочное и надежное крепление проводов к каркасу самолета без разрушения изоляции и удобство чтения маркировки. Зазоры между жгутами и деталями, конструкции и радиусы изгибов жгутов и кабелей должны соответствовать заданным.

5. Провода, жгуты и кабели, подсоединенные к готовым изделиям и разъемам, не должны иметь в местах общей прокладки натяжений, изломов, переплетений и не должны лежать на острых кромках. Жгуты, подсоединяемые к подвижным частям каркаса, должны иметь слабину (петлю), однако они не должны переплетаться и закрывать маркировку блоков.

С точки зрения технологичности электро- и радиосистем наиболее совершенной считается компоновка проводов, отдельных приборов и устройств на панелях с выводами в виде штепсельных разъемов для подсоединения к ответным коммуникациям на самолете. Такие панели заранее собирают на верстаке, контролируют, испытывают на функционирование по заданным параметрам и как готовый узел монтируют на самолете. Размещение разъемов бортового оборудования в местах эксплуатационных и конструктивных разъемов планера позволяет выполнять монтаж жгутов при агрегатной сборке.

Для уменьшения числа трудоемких операций по прокладке электропроводов и удобства их монтажа и контроля электросеть самолета разбивают на фидеры, состоящие из многочисленных проводов, собранных в жгуты. Данная схема, кроме автономного монтажа и контроля, позволяет применять более простые стенды для проверки системы под током и производить ремонт без значительных демонтажей на самолете.

Жгуты изготавливают на специальных плазах в соответствии с технологией, чертежами (принципиальными, полумонтажными и монтажными схемами), техническими условиями и другой документацией. Типовой чертеж жгута (рис. 20.23 и 20.24), развернутый на плоскости, имеет всю необходимую информацию для разработки технологического процесса, методов и средств контроля.

На чертеже показаны конфигурация и внешнее оформление жгута, линейные размеры ответвлений и трассы проводов, причем на каждый конец провода указана заделка. К качеству жгутов предъявляются жесткие эксплуатационные требования — механическая прочность соединений проводов с электроэлементами должна быть высокой при минимальном переходном контактом сопротивлении. Все проводки должны исключать возможность коротких замыканий, приводящих к пожару, и поэтому жгуты должны быть защищены от механических и других повреждений, от атмосферных воздействий, попадания топлива и минеральных масел.

Использование в жгутах стандартизованных (проверенных в эксплуатации) элементов способствует значительному повышению качества систем. В настоящее время стандартизованы виды заделки, бандажировки, вязки и оплетки жгутов, виды заделки их концов и наконечники, штепсельные разъемы и т. д. Такая обширная стандартизация позволяет создавать типовые технологические нормалы на изготовление жгутов.

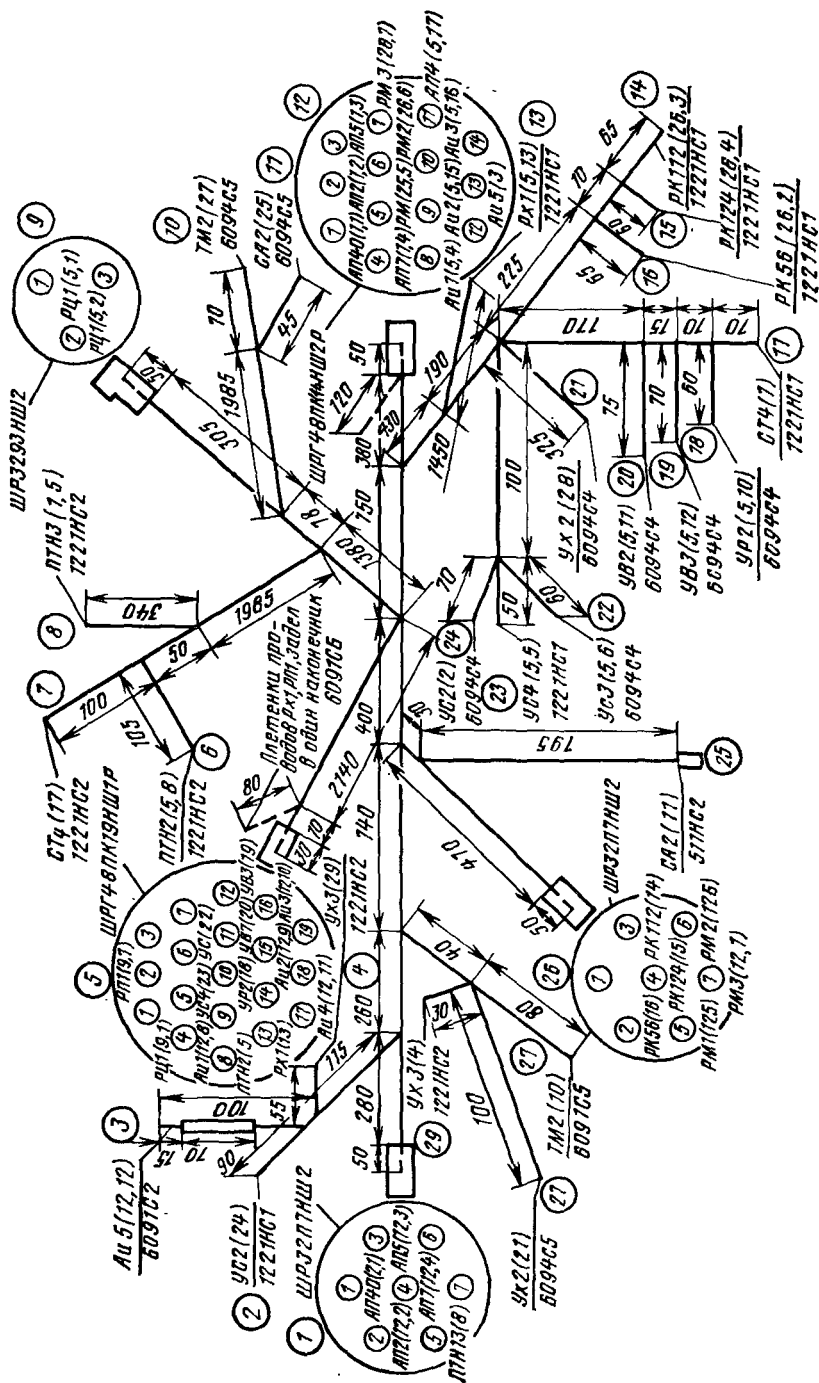


Рис. 20.23. Типовой чертёж жгута

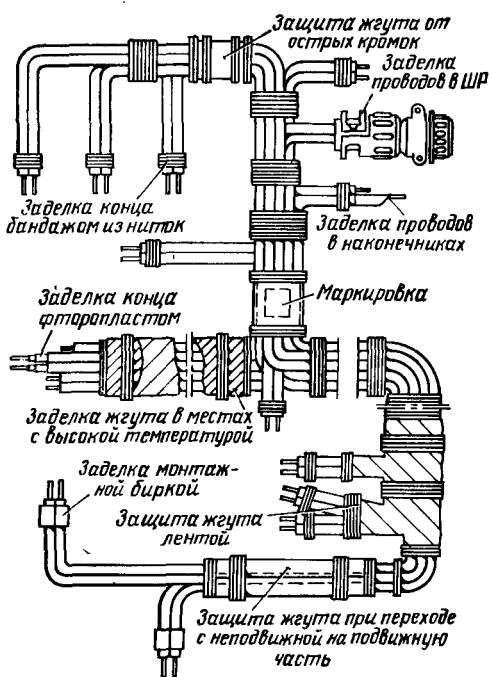


Рис. 20.24. Типовое оформление жгута

При сборке отдельных проводов в жгут и их контроле на специальном участке выполняют следующие операции:

отмеряют и отрезают провода заданной длины; маркируют провода (маркирующий знак или трубка-бирка);

раскладывают провода на плаз-шаблоне для вязки в жгут;

вязжут провода в жгут ниточными бандажами;

обшивают связанный жгут специальными материалами (тканью, кожей, текстовинитом);

оплетают жгуты лентой или надевают на них трубки для предохранения изоляции проводов от механических повреждений;

надевают металлическую экранирующую оплетку;

надрезают, снимают и зачищают изоляцию с концов провода; заделывают изоляцию на концах провода;

облуживают концы проводов для паяных соединений;

припаивают провода к штырям штексельных разъемов, клеммам, кабельным наконечникам или соединяют жилу провода методом обжимки со штырем разъема или наконечником;

опрессовывают кабельные наконечники (без пайки);

собирают штексельные разъемы (с присоединенными к ним проводами);

контролируют правильность пайки или опрессования проводов; проверяют целостность изоляции и нет ли замыканий; проверяют сопротивление и электрическую прочность изоляции.

В зависимости от масштаба производства каждая операция имеет различную степень оснащенности средствами механизации. При малой программе выпуска и часто меняющихся конструкциях жгутов обычно используют различные средства малой механизации; приспособление с упором для отрезки проводов, пневматические кусачки, ножи для отрезки высокочастотных кабелей, электротермоножи для надрезки изоляции (рис. 20.25); приспособления для зачистки и скручивания жил (рис. 20.26); машины

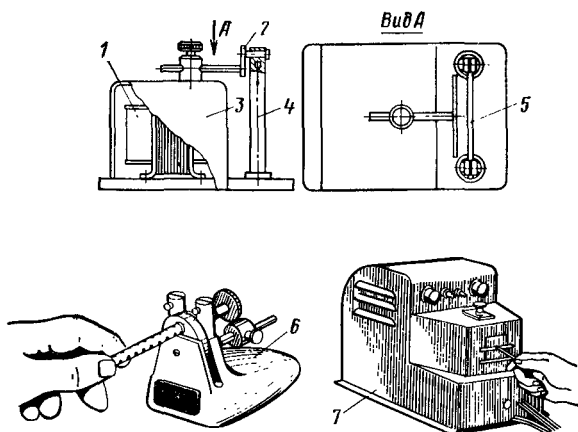


Рис. 20.25. Приспособление для надрезки изоляции на проводах электрообжигом:
 1 — трансформатор; 2 — регулируемый упор; 3 — кожух; 4 — колонки; 5 — электро-
 термомож; 6 — приспособление для электрообжига без регулирования температуры;
 7 — приспособление для электрообжига с регулированием температуры

для маркировки проводов. Крупносериальное производство жгутов должно быть обеспечено автоматическими высокопроизводительными приспособлениями и оборудованием, а организация работ — соответствовать принципам организации поточных линий. В этом случае применяют компоновку отдельных операций, выполняемых на специализированных автоматах, встроенных в общую линию, что позволяет значительно снизить трудоемкость и поднять качество изготовления жгутов.

Механизированные участки по изготовлению жгутов (с циклом отрезки проводов заданной длины до контроля качества жгута) могут быть организованы следующим образом. Пятишпиндельный автомат 1 отмеряет и отрезает провода различных сечений, надрезая и снимая изоляцию с обоих концов провода. Затем на заготовленные провода автоматические головки 2 надевают бирки-трубки, а концы проводов смачивают флюсом и облуживают. Этот же автомат надевает, обжимает и припаивает наконечники. Далее на переносном плаз-шаблоне или монтажно-проверочном стенде (рис. 20.27) провода укладывают, вяжут в жгуты и проверяют. Бандажировку выполняет специальная машина.

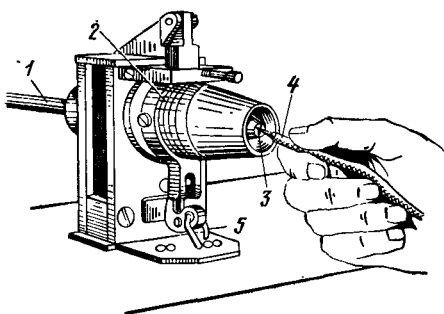


Рис. 20.26. Приспособление для скручивания жил проводов:
 1 — шпиндель; 2 — конусная муфта; 3 — ку-
 лачки; 4 — привод; 5 — тяга включения

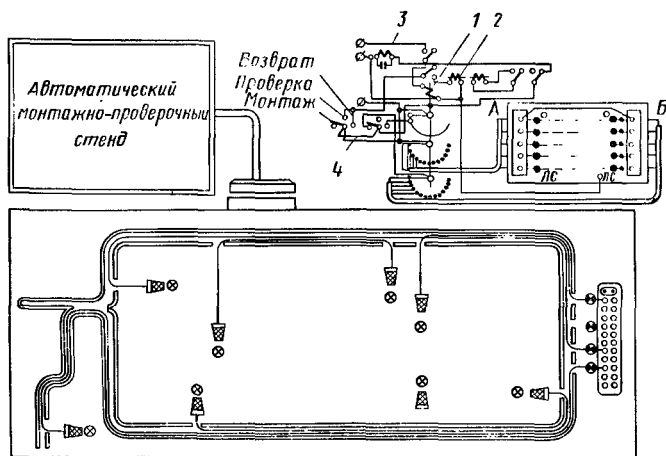


Рис. 20.27. Принципиальная электросхема монтажно-проверочного стенда: 1 — шаговый искатель; 2 — телефонное реле; 3 — реле РКН; 4 — трехпозиционный переключатель; ЛС — сигнальные лампы; А и Б колодки для подключения проверяемого жгута

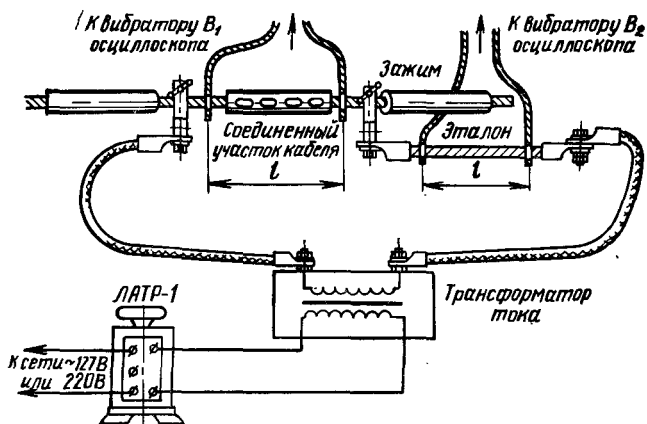


Рис. 20.28. Схема подключения прибора для определения величины переходных сопротивлений

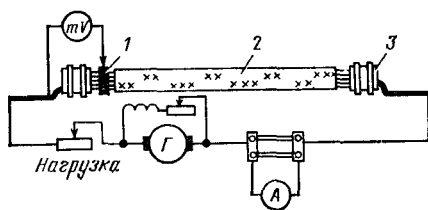


Рис. 20.29. Схема подключения провода при измерении переходного сопротивления по принципу вольтметра-амперметра:

1 — хомутник; 2 — провод; 3 — наконечник

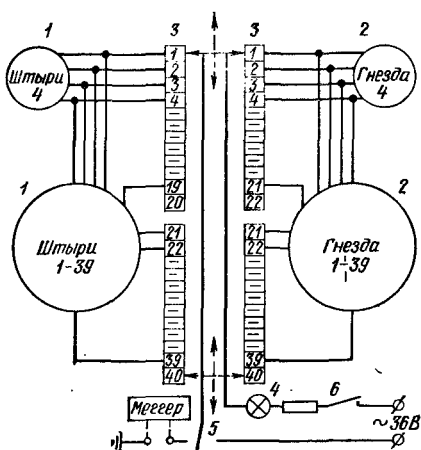


Рис. 20.30. Схема прибора для проверки монтажа электропроводов жгутов: 1, 2 — штырные разъемы; 3 — переключатели; 4 — лампочка-индикатор; 5 — переключатель; 6 — выключатель прибора

Помимо контроля в процессе сборки проводов все готовые жгуты подвергают контролю и испытаниям до установки и после монтажа на самолете. Осматривают и определяют механическую прочность соединений, измеряют их переходное электрическое сопротивление (рис. 20.28, 20.29), проверяют сопротивление изоляции проводов, нет ли замыканий между ними, правильность раскладки проводов и качество пайки.

Для контроля параметров используют автоматические пульты и пульты с ручным переключением цепей. Целесообразность применения тех или иных пультов зависит от числа проводов в жгуте и величины партии. Так, при проверке жгутов, имеющих не более 40 проводов, рентабельны пульты с ручным управлением (рис. 20.30). Для того чтобы проверить, нет ли в жгутах обрывов, замыканий, и измерить сопротивление изоляции у жгутов, а также у смонтированных в распределительных коробках щитках применяют пульт АПП-1 (рис. 20.31). При обнаружении неисправности электросхема пульта выключается, и соответствующие сигнальные лампочки указывают вид неисправности и номер неисправного провода. Пульт имеет также схему самоконтроля.

Для контроля жгутов, имеющих 150 проводов и более, применяют автоматические пульты, в которых коммутация проверяемых цепей осуществляется автоматически при помощи систем реле и шаговых искателей. При обнаружении дефекта автомат прекращает работу, и оператор по сигнальным лампочкам и лимбу счетчика определяет характер неисправности и номер неисправной цепи. Для контроля остальных цепей необходимо нажать кнопку «ПУСК».

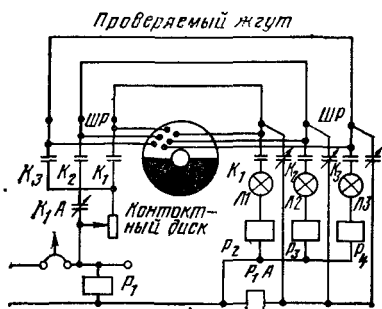


Рис. 20.31. Электрическая схема пульта АПП-1

§ 5. ОТРАБОТКА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Для определения работоспособности и настройки бортового оборудования, а также контроля основных параметров механизмов все системы самолета обрабатывают на функционирование. Гидравлические системы самолета и их аварийные линии, как правило, обрабатывают по отдельным участкам (шасси, закрылки, тормозные щитки, противопопажные створки, стеклоочистители, конус воздухозаборника, управление стабилизатором и др.).

Перед обработкой на функционирование гидросистемы дозаправляют рабочей жидкостью; проверяют подсоединение трубопроводов, принимающих участие в обработке; заменяют фильтры технологическими; отсоединяют часть агрегатов (в зависимости от конструктивной схемы гидросистемы); проверяют давление в гидроаккумуляторах и гидробаке, а также готовность и самого контрольного стенда.

После определенного количества срабатываний агрегатов контролируют заданные параметры, характеризующие работоспособность системы. Например, в системе тормозных щитков проверяют синхронность уборки и выпуска, время сборки и выпуска, углы отклонения и зазоры; в системе управления стабилизатором — работу на различных режимах, работу при переходе с основной системы на аварийную и т. д. Одновременно с обработкой на функционирование проверяют герметичность системы и чистоту рабочей жидкости.

После обработки гидросистемы на функционирование демонтируют технологические фильтры, устанавливают рабочие фильтры, подсоединяют ранее отключенные трубопроводы к насосам и агрегатам, кончат и пломбируют соединения.

Для проверки гидросистем на функционирование применяют отработочные стенды (рис. 20.32). Для обработки шасси на стенде применяют стационарную или подвижную установку, на которой смонтированы источники энергии и контрольные приборы.

Обработку пневматических систем самолета на функционирование проводят в агрегатных или сборочных цехах аналогично

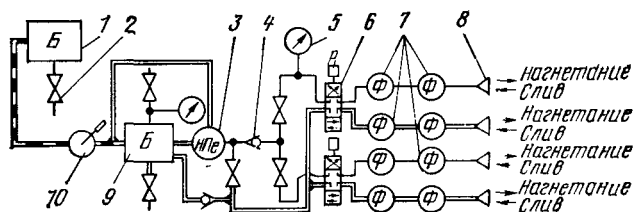


Рис. 20.32. Принципиальная схема стенда для одновременной и раздельной обработки участков гидросистемы на функционирование:

1 — бак; 2 — вентиль; 3 — насос; 4 — обратный клапан; 5 — манометр; 6 — трехходовой кран; 7 — фильтр тонкой очистки; 8 — штуцер; 9 — бак; 10 — ручной насос

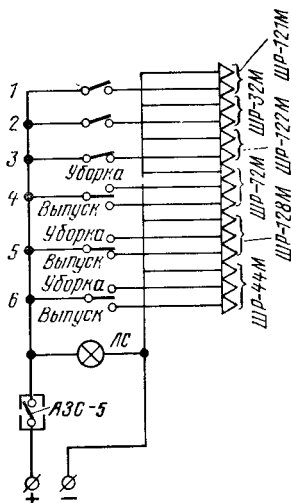
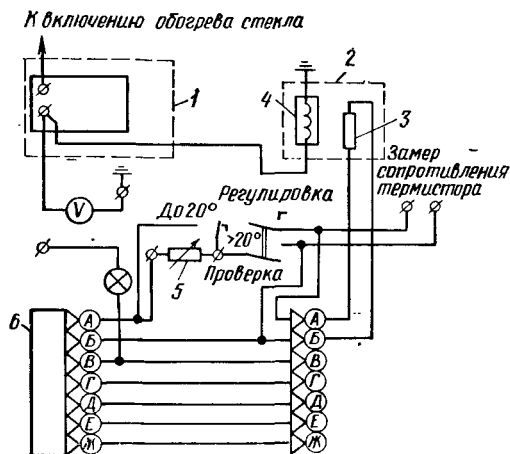


Рис. 20.33. Электрическая схема пульта для проверки тормозных щитков самолета на функционирование:

1 — кран створок перепуска воздуха; 2 — кран переходного тормозного щитка; 3 — кран заднего переходного щитка; 4 — кран конуса положения I; 5 — кран конуса положения II; 6 — кран закрылков

Рис. 20.34. Пульт для проверки системы обогрева стекол кабины пилота на функционирование:

1 — распределительная коробка обогрева; 2 — стекло; 3 — термистор; 4 — спираль обогрева; 5 — магазин сопротивлений; 6 — штепсельный разъем



отработке гидравлических систем после продувки и проверки ее на герметичность. В качестве рабочей среды используют воздух или азот. По окончании отработки из системы через стэнд стравливают давление, а стэнд отключают от борта самолета. Контрольные стэнды для отработки участков пневмосистемы на функционирование однотипны как для агрегатных и сборочных цехов, так и для цеха контрольных испытаний.

Электросистему самолета отработывают на функционирование во взаимодействии с исполнительными агрегатами и одновременным контролем приборов по отдельным электроцепям в агрегатных или сборочных цехах. Для этого в месте разъема к проверяемой электроцепи подсоединяют штепсельные разъемы пульта. Например, при автономной проверке электроцепей системы тормозных щитков используют пульт, показанный на рис. 20.33. При нормальной работе тормозных щитков на пульте загорается сигнальная лампочка. Аналогично работают пульты для проверки на функционирование системы обогрева стекол кабины пилота (рис. 20.34), проверки работы замков подвесных топливных баков (рис. 20.35) и других систем.

Для определения характеристик надежности и долговечности бортового оборудования, его отдельных узлов и комплектующего

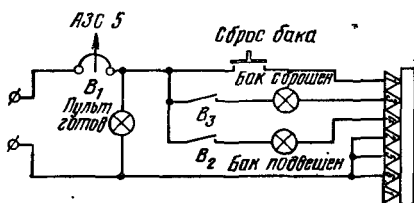


Рис. 20.35. Электрическая схема пульты для проверки работы замков подвесных баков

туемую систему ставят под нагрузку, равную, а иногда и превышающую нагрузку при нормальной эксплуатации, до появления первого отказа. Причины отказа изучают, устраняют и продолжают испытания, пока система не отработает время, установленное техническими условиями. Шасси самолета, например, испытывают на стенде копрового типа, представляющем собой пространственную раму или шахту с направляющими, по которым скользит тележка, нагруженная балластом. Внизу к тележке прикрепляются опоры шасси. Тележка вместе с шасси поднимается на несколько метров от уровня пола и сбрасывается вниз. Испытания продолжают до тех пор, пока не будет гарантированной уверенности в безотказной работе конструкции шасси.

Электро-, радиооборудование и его отдельные элементы испытывают в условиях, близких к эксплуатационным, т. е. в барокамере, климатической камере, термокамере и т. п.

При проведении ресурсных испытаний необходимо решить вопрос о программах и программных механизмах, осуществляющих нагружение комбинированных объектов системы — агрегат в соответствии с заданным спектром нагрузок. Такие программные механизмы сейчас создаются для испытания отдельных элементов систем и комбинированных объектов в целом. К ним относятся моделирующие установки, которыми оборудуются стенды в целях наиболее полного приближения условий испытаний систем автоматического управления к реальной эксплуатации. Так, например, при испытании систем управления самолета, включающих автопилот, необходимо иметь модель самолета, реагирующую на отклонение органов управления. Для этой же цели могут применяться небольшие аналоговые электронные машины типа МН-10, а для моделирования наиболее сложных изделий — машины типа МН-14, «Электрон» и др.

Время ресурсных испытаний отличается от реального времени работы изделия в эксплуатации. Если выработку ресурса в 400 ... 500 ч при испытаниях можно провести за 1 ... 1,5 месяца, то тот же ресурс при обычной эксплуатации можно выработать за 2 ... 3 года, фактически же полный срок эксплуатации многих изделий доходит до 8 и более лет. Поэтому при назначении любого параметра для ресурсных испытаний следует учитывать влияние на него срока работы изделия в эксплуатации.

Ресурсные испытания, проведенные в лабораторных условиях, достаточно близки к реальным, позволяют выявить менее стойкие звенья как в системах, так и в отдельных узлах и приборах.

В лабораториях проводятся:

статические испытания узлов, деталей, систем, агрегатов и изделия в целом для определения общих запасов прочности силовых элементов;

оборудования на заводе в ряде случаев проводят ресурсные испытания систем на натурном стенде — самолете, переоборудованном для этой цели, отсеке, агрегате или специальном стенде. На натурном стенде отработывают силовую установку, топливную гидрогазовую, электро-, радио- и другие системы самолета. Испы-

испытания на повторные статические нагрузки узлов, деталей, систем, агрегатов и изделия в целом для определения ресурса всех силовых элементов конструкции;

динамические (копровые) испытания ходовых средств на работоспособность и динамическую прочность для определения характеристик амортизации и ресурса агрегатов ходовой части;

вибрационные испытания деталей, узлов, систем, агрегатов для определения ресурса;

определение напряжений в силовых элементах при эксплуатационных ресурсных испытаниях;

исследование выносливости различных видов типовых соединений на образцах.

В лабораториях по исследованию и испытаниям оборудования проводят изолированные ресурсные испытания элементов систем. Они дают возможность исследовать поведение элементов систем при высоких и низких температурах, повышенной влажности и запыленности, при вибрациях, различных механических и электрических перегрузках и т. д.

Так, целью ресурсных испытаний является оценка надежности и долговечности работы систем и их элементов в реальных условиях, то при разработке программ этих испытаний необходимо стремиться приблизить условия испытаний к эксплуатационным. При отступлении от реальных условий как в сторону улучшения, так и в сторону ухудшения, результаты ресурсных испытаний могут оказаться искаженными.

Для того, чтобы вывести коэффициенты соответствия ресурсных испытаний результатам эксплуатации, необходимо организовать четкую статистику отказов.

Нагрузки на любые элементы систем изделия можно задавать исходя из данных всего спектра нагрузок, действующих на агрегаты машины.

Частота повторения нагрузок назначается по материалам специальных исследований. Большую роль при этом играют статистические материалы повторяемости перегрузок по опыту эксплуатации подобных изделий.

Исследования показывают, что сильное влияние на выносливость агрегатов оказывает характер изменения нагрузки, в частности имеющаяся асимметрия цикла нагружения.

При одинаковой величине максимальной нагрузки наиболее тяжелым является режим симметричного цикла нагружения. Поэтому, назначая условия нагружения при испытаниях на ресурс, необходимо учитывать и это обстоятельство.

При проведении комплексных ресурсных испытаний систем на натурных стендах ставятся следующие задачи:

определение характеристик надежности систем в целом и отдельных их элементов при работе в системе, в отличие от изолированных лабораторных ресурсных испытаний;

на основании результатов испытаний разработка мероприятий по конструктивной доводке отдельных элементов систем и обеспечение повышения надежности и ресурса всей системы;

проверка реальности гарантируемых сроков службы систем и их элементов и целесообразности заданных сроков регламентных работ по всем системам;

уточнение инструкции по эксплуатации изделия и отдельных его систем.

Одним из наиболее значительных является исследование характеристик надежности гидравлических, электрических, топливных и других систем, связанных с функционированием наиболее важных органов изделий. Так как многие системы изделий взаимосвязаны, исследования приходится проводить при совместной их работе. В качестве натурального стенда может быть использован макет машины, на котором проводилась конструктивно-технологическая отработка. На этом макете все геометрические размеры строго выдержаны, а положение агрегатов и коммуникаций соответствует их истинному расположению на машине.

В качестве стендов для ресурсных испытаний гидравлической, воздушной, топливной систем и систем управления также могут быть использованы отдельные

агрегаты машины, на которых проводилась отработка монтажей трубопроводов и электропроводки систем.

Для успешного и быстреего проведения испытаний требуется максимальная механизация, применение различных программных устройств, использование ускоренных испытаний.

Ускоренными испытаниями называют такие испытания, которые позволяют определить или проконтролировать показатели надежности объектов в более короткие сроки, чем при эксплуатационных режимах. Необходимость проведения ускоренных испытаний авиационной техники обуславливается тем, что межремонтные сроки службы изделий в настоящее время достигают $(6 \dots 9) 10^3$ ч, и вследствие этого проведение обычных испытаний зачастую оказывается нецелесообразным.

Испытания, проводимые в нормальных условиях, можно ускорить, если на выходной контролируемый параметр установить более жесткий допуск по сравнению с указанным в технических условиях. Естественно, состояние отказа изделия наступит гораздо быстрее, что позволяет сократить время испытаний.

Испытания можно ускорить, если использовать информацию о характере случайного процесса возникновения и развития отказов. В этом случае представляется возможным проводить испытания на сокращенном участке времени с последующим прогнозированием показателей надежности.

В ряде случаев сократить время испытаний возможно благодаря использованию дополнительной информации о надежности, полученной на предыдущих этапах испытаний или из испытаний изделий-аналогов.

Форсированными испытаниями принято называть такие, которые проводятся в условиях ужесточения режимов работы изделий, что приводит к интенсификации процессов возникновения и развития отказов.

В процессе испытаний отработывают объем и сроки проведения регламентных работ, определяют спектры нагрузок, рабочие давления, напряжения, температуры и вибрационные характеристики, оказывающие влияние на надежность и долговечность машины и отдельных элементов системы, тщательно исследуют условия, в которых находятся системы, чтобы в последующем осуществить наиболее точное моделирование при различных испытаниях.

Испытания планируются с учетом работы машины в различных условиях. При этом вместе с выявлением надежности систем оцениваются эксплуатационные качества машины и выявляются ее особенности.

На эксплуатационные испытания ставятся первые машины серийного выпуска; программа наработки при испытаниях должна по крайней мере на $1 \dots 1,5$ года опережать наработку машин в обычной эксплуатации.

После наработки при эксплуатационных ресурсных испытаниях, которая определяется в зависимости от назначения и характера работы машин, проводят всесторонние обследования ее, измеряют параметры систем и отмечают их изменения в ходе испытания. Так, датчиками с записью на осциллографе в различных полостях машины измеряют давление и температуру. Для измерения вибраций применяют вибрографы и осциллографы. Измерение напряжений в элементах конструкций проводят тензодатчиками и записывают при помощи усилителя и осциллографа.

По результатам эксплуатационных испытаний производится доработка конструкции машины и ее систем. Данные исследований позволяют уточнить технические условия на комплектующие изделия, методику и условия контроля и проверок оборудования, программы лабораторных ресурсных испытаний с тем, чтобы там, где имеет место большое расхождение, еще раз пересмотреть результаты этих исследований.

ОБЩАЯ СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ САМОЛЕТОВ (ВЕРТОЛЕТОВ)

§ 1. ПРОЦЕССЫ ОБЩЕЙ СБОРКИ

Общая сборка самолетов (вертолетов) является завершающим этапом, в процессе которого стыкуют агрегаты планера, заканчивают монтажи оборудования, регулируют и испытывают все механизмы и системы. Трудоемкость общей сборки составляет до 12 ... 30 % общей трудоемкости изготовления самолета и зависит от его типа, конструктивного оформления, технологических схем, методов сборки и организации производства.

Процесс общей сборки должен обеспечивать минимально возможный производственный цикл, определяемый формулой

$$Ц = T/P_0, \quad (21.1)$$

где T — трудоемкость процесса, человеко-ч; P_0 — количество одновременно участвующих в процессе сборки рабочих (фронт работ).

Как видно из формулы, уменьшение цикла общей сборки связано с уменьшением ее трудоемкости и максимальным расширением фронта работ. Первое требование может быть выполнено уменьшением объема и номенклатуры работ путем вынесения ряда монтажных операций на агрегатную сборку и подачи на общую сборку максимально завершенных монтажей агрегатов. Ширина фронта работ зависит от типа самолета (его размеров) и характера работ, выполняемых на стенде. Так для легкого самолета фронт работ значительно меньше, чем для тяжелого с несколькими двигателями.

Основным методом организации процесса общей сборки на заводах является поточно-конвейерный с тележками, движущимися по рельсовому пути. Расположение самолетов на конвейерной линии может быть продольным или поперечным (рис. 21.1). При наиболее распространенном продольном расположении фюзеляжа самолет в конце линии опускается на шасси и выкатывается из цеха.

Стенды линии наиболее просто и удобно располагать вдоль агрегатосборочных цехов. Тогда агрегаты и узлы подаются в последовательности, диктуемой технологическим процессом сборки. Однако при большом числе стендов и больших габаритных размерах самолета линия получается длинной. Для уменьшения ее длины применяют угловое расположение стендов. Расположение поточной линии по периметру цеха (замкнутое расположение) (рис. 21.2, а) позволяет максимально использовать площадь цеха общей сборки и исключить возврат пустых тележек. Чтобы ликвидировать закругления, занимающие большие площади

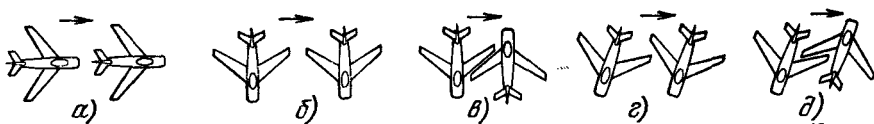


Рис. 21.1. Варианты расположения самолетов на поточно-конвейерных линиях: а — продольное; б — поперечное в одну сторону; в — поперечное в обе стороны; г — под углом в одну сторону; д — под углом в обе стороны

цеха, в конце линии чаще всего размещают поворотные круги (рис. 21.2, б). Иногда для передачи самолета с одной линии на другую применяют траверсные тележки, размещенные на концах прямых участков (рис. 21.2, в). При мелкосерийном производстве с ритмом большой длительности конвейерные линии не проектируют, а обходятся тремя-четырьмя рабочими местами, на которые самолеты перемещают кранами или тягачами.

Перемещать самолет на конвейере можно с постоянным и переменным тактом. Переменный такт делает производственный процесс более гибким, легче перенастраиваемым при изменении модификации самолета или запуске новой серии, но требует четкой организации труда, современных методов планирования и применения электронно-вычислительной техники при расчетах.

Так как при поточной сборке все производственные, контрольные и транспортные операции выполняются в установленном ритме, то цикл общей сборки на линии

$$Ц = KP, \quad (21.2)$$

где K — количество стенов; P — ритм сборки.

Стеновые задания отражены в цикловом графике (рис. 21.3) поточной сборки, который дает представление о содержании работ на каждом стенде, о последовательности выполнения отдельных монтажей и использовании фронта работ. Когда организуют две или три параллельно работающие линии, каждая из них работает с ритмом, в 2 или 3 раза большим, чем главный ритм завода (календарный фонд, деленный на программу). Это облегчает компоновку стеновых зданий.

В зависимости от состояния поставки агрегатов самолета на общую сборку, стыковка агрегатов может осуществляться с помощью специальных стыковочных стенов или с помощью стено-

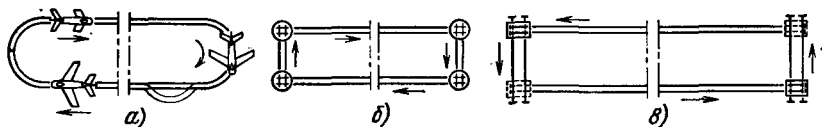


Рис. 21.2. Схемы кольцевых (замкнутых) конвейерных линий:

а — с закруглением рельсового пути; б — с поворотными кругами; в — с траверсными и передаточными тележками.

Рис. 21.3. Примерная форма циклового графика поточно-конвейерной сборки

Зона работ	Стенд		
	1-й	2-й	3-й
1-я Носовая часть фюзеляжа	7/1	7/2	
	1/1	7/3	8/5
2-я Кабина	5/1	5/2	8/3
			8/5
3-я Двигательная установка	74/1	74/2	8/1
	10/2		8/2
4-я Крылья		10/3	
	Прав.	2/2	2/1
	Лев.		2/4
5-я Оперение		15/4	15/2
			15/3
		15/2	1

15/3

вых тележек. Стыковочные стенды применяются в случае поставки агрегатов с неполной взаимозаменяемостью по сопрягаемым элементам и необходимостью совместной разделки стыковых отверстий.

Основными элементами стыковочных стендов являются регулируемые тележки и домкраты, позволяющие перемещать агрегаты в любом направлении, и измерительные устройства (индикаторные головки), позволяющие производить измерения по 3-м взаимно перпендикулярным осям.

На все агрегаты планера при стапельной сборке наносятся реперные точки, которые являются физическими носителями базовых осей агрегатов.

При стыковке самолета в стенде один из агрегатов (обычно фюзеляж или центральная секция фюзеляжа) устанавливается по реперным точкам в рабочее полетное положение и к этому агрегату, который принимается за базовый, последовательно присоединяются все остальные агрегаты.

Установка присоединяемых агрегатов производится при помощи тележек и домкратов стенда путем совмещения с требуемой точностью реперных точек агрегатов с измерительными устройствами стенда.

После закрепления агрегатов осуществляется совместная разделка стыковых отверстий.

При стыковке самолета из взаимозаменяемых агрегатов, агрегаты устанавливаются на стендовые тележки, совмещаются стыковые отверстия, устанавливаются стыковые болты и агрегаты автоматически занимают правильное полетное положение.

После этого производится проверка правильности установки агрегатов по реперным точкам с помощью оптических приборов: нивелиров и теодолитов.

Разделочные станки представляют собой сложные агрегатные станки, оснащенные сверлильными и фрезерными станками, копирами, кондукторами, поддерживающими и настраивающими устройствами.

Технологический процесс окончательной сборки самолета разделяется на следующие основные этапы.

1. Предварительная стыковка агрегатов и нивелировка самолета.

2. Монтажные работы.

3. Стыковка агрегатов и окончательная сборка.

4. Испытание систем самолета.

5. Отделочные работы.

Предварительную стыковку агрегатов производят в случае, если некоторые агрегаты (отсеки фюзеляжа, крылья, оперение и т. д.) невзаимозаменяемы в силу конструктивных особенностей. Целью предварительной стыковки является проверка положения агрегатов относительно друг друга; крепление их в зафиксированном положении; совместная обработки стыковочных отверстий и узлов. При предварительной стыковке соединяют агрегаты или секции фюзеляжа; фюзеляж с центропланом и с гондолами двигателей; навешивают шасси, пристыковывают полукрылья и оперение. Далее выполняют нивелировку самолета и снова все расстыковывают для удаления посторонних предметов и пыли, а также для предварительной окраски отсеков и монтажа.

Для окраски изделие направляют в цех покрытий или в специальную мастерскую цеха общей сборки.

В цехе общей сборки выполняют монтажные работы, не включенные в объем работ агрегатных цехов. На полностью состыкованном самолете монтируют:

двигатели и управление ими;

шасси, управление выпуском и уборкой шасси, тормозами, створками шасси и сигнализацией;

систему управления самолетом, включая управление рулями, элеронами, триммерами, щитками, закрылками, предкрылками и т. д.;

топливную систему (баки, трубопроводы питания, дренажа, топливомеры);

маслосистему (маслобаки, трубопроводы);

системы отопления и вентиляции кабин, противообледенения, противопожарную, кислородную;

электро- и радиооборудование (рации, локаторы, генераторы, электродвигатели, лампы, фары);

специальное оборудование в зависимости от назначения самолета;

приборные диски и пульта, приборы контроля работы двигателя, пилотажно-навигационные и пр.;

сиденья экипажа, пассажирские кресла и бытовое оборудование пассажирских самолетов.

Требования к агрегатам, поступающим на общую сборку, и к выполнению монтажных работ на общей сборке аналогичны требованиям при агрегатной сборке. Как правило, стыковку агрегатов и монтаж бортового оборудования в цехе общей сборки производят на стендах.

Для предварительного монтажа двигатель при помощи крана устанавливают на стенд. На стенде монтируют гидронасос, компрессор, патрубки перепуска воздуха, трубопроводы маслосистемы и питания, электропроводку, трубки обогрева носка капота и др. Затем последовательно устанавливают среднюю, боковую и переднюю части капота, противовес и нивелируют капот. Проверяют герметичность и качество металлизации трубопроводов, а также работу электропроводки под током. Подготовленный двигатель снимают краном со стенда и устанавливают на самолет, где производят дальнейший монтаж.

Реактивные двигатели в силу особенностей их конструкции крепят не жестко, а при помощи системы регулируемых тяг и подкосов.

Правильность положения оси двигателя проверяют нивелиром, теодолитом или специальными приспособлениями, устанавливаемыми на узлы фюзеляжа. Допуски на отклонения оси двигателя от теоретического ее положения зависят от характеристик самолета и задаются главным конструктором. Регулирование положения двигателя сводится к совмещению его оси с осью самолета в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Шасси в зависимости от принятой схемы сборки монтируют или в агрегатно-сборочном цехе на соответствующем агрегате (крыле, центроплане, фюзеляже) или при общей сборке самолета. Монтаж шасси на агрегатах более характерен для легких самолетов. В монтаж шасси входят операции постановки механизма уборки, присоединения проводов управления и комплексной проверки и регулирования всей установки; открытия и закрытия створок; выпуска и подъема шасси, тормозной системы, сигнализации.

Характер технологического процесса установки шасси зависит от конструкции и степени взаимозаменяемости шасси по соединительным узлам (рис. 21.4).

Конструкция шасси должна позволять собирать и обрабатывать его кинематику до установки на самолет, для чего в цехах изготовления шасси создаются специальные стенды. Взаимозаменяемость шасси, основные узлы которого (стойки и подкосы) крепятся при помощи вильчатых соединений, достигается разделкой соответствующих узлов шасси и агрегата, на котором оно установлено.

Монтаж системы управления самолетом сводится к протягиванию жестких и тросовых тяг; установке штурвалов, педалей, рукояток, секторов; соединению тяг с исполнительными и командными органами; регулированию кинематических схем и контролю работы полностью смонтированной системы.

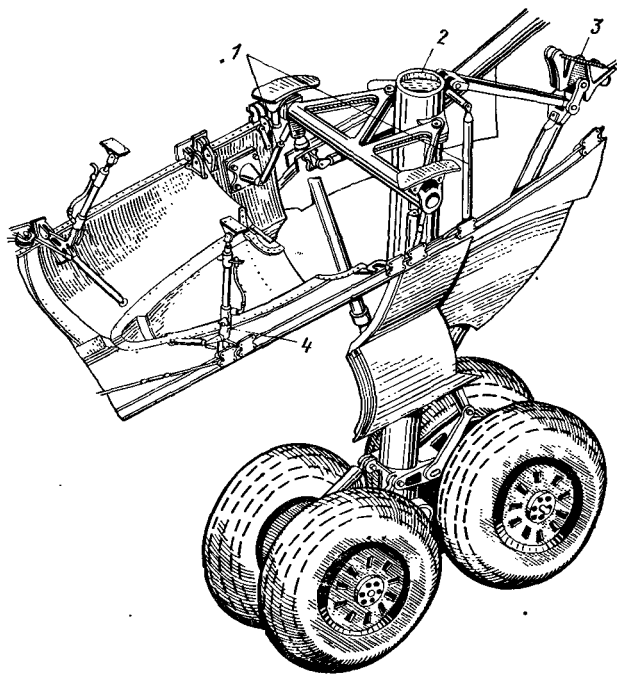


Рис. 21.4. Основная опора:

1 — тяги управления створками; 2 — главная стойка шасси; 3 — замок выпущенного положения шасси; 4 — передний замок створок

При монтаже тросовых проводок управления элеронами, оперением или замками шасси (рис. 21.5) величину предварительного натяжения троса проверяют динамометром. Например, для тросов управления рулем высоты диаметром 4 мм предварительное натяжение при 20 °С равно 400 Н, а для тросов управления рулем направления диаметром 5 мм — 500 Н. Окончательно натяжение тросов проверяют после регулирования рулей и элеронов.

На каждом самолете проверяют величину трения в системе управления при полностью смонтированном управлении с подвешенными рулями. Для системы управления элеронами эту операцию выполняют при помощи грузов, подвешенных на гибкой нити, прикрепленной к специальному сектору на штурвале. В системе управления рулей высоты и направления трение замеряют динамометром со шкалой не более 200 Н.

По окончании механического регулирования системы управления самолетом, просветки электрооборудования и обработки гидросистем производят проверку работы систем автоматки управления самолетом, гидроагрегатов, рулевых механизмов, снятие загрузочных и жесткостных характеристик.

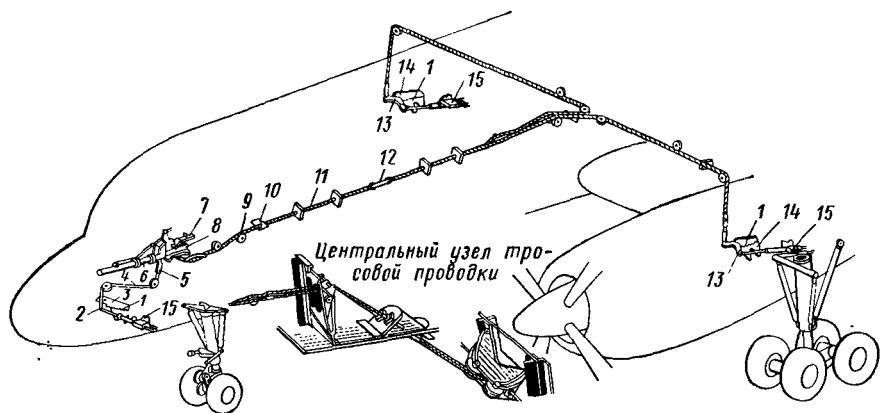


Рис. 21.5. Система аварийного управления замками убранного положения шасси:
 1 — пружина; 2 — качалка; 3 — замок убранного положения передней опоры; 4 — трос к передней опоре; 5 — герметичный вывод; 6 — ручка аварийного открытия замков; 7 — концевой выключатель; 8 — кронштейны; 9 — ролик; 10 — направляющая пластина; 11 — трос к основной опоре; 12 — тесдер; 13 — качалка; 14 — замок убранного положения основной опоры; 15 — поворотный кран

Загрузочные характеристики снимают, измеряя усилие, необходимое для перемещения органов управления и величину их хода. Частотные характеристики системы управления снимаются с целью выявления фазовых сдвигов в проводке на участках: ручка управления (штурвал, педали) — органы управления.

При этом применяются электродинамические ручки и педали типа МН-64, СН-16, шлейфовые осциллографы типа К12-22 и различные приспособления для измерения ходов ручки, педалей и органов управления.

Собранные и смонтированные на самолете гидрогазовые системы промывают и испытывают на герметичность и функционирование по техническим условиям, установленным для данной системы. Перед промывкой систему закольцовывают (рис. 21.6), заменяя рабочие фильтры, обратные клапаны и дроссели технологическими. Системы высокого давления испытывают на герметичность в два этапа: предварительные испытания при давлении до 0,25 МПа, допускаемом в общецеховых условиях на рабочем месте, и окончательные при давлении 3, 15, 30 МПа с соблюдением правил техники безопасности. Давление при испытаниях поднимают и снижают постепенно, ступенями, контролируя герметичность системы на каждой ступени давления. Методы проверки герметичности гидрогазовых систем приведены в табл. 20.1.

Наряду с испытаниями на герметичность при общей сборке проверяют качество металлизации всей системы, определяя величину переходных сопротивлений. Стенды для промывки, контроля герметичности и функционирования применяют те же, что и в цехе агрегатной сборки. Затем при рабочем давлении гидрогазовые системы отработывают на функционирование.

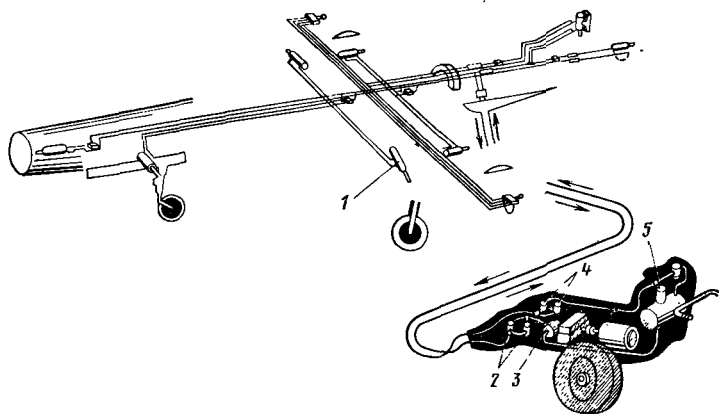


Рис. 21.6. Схема кольцевания трубопроводов гидросистемы при промывке на стенде:

1 — бустер; 2 и 4 — фильтры; 3 — насос; 5 — оптический фильтр

Монтаж *электро- и радиосистем* сводится к установке на самолете источников энергии, потребителей тока, распределительных управляющих и контрольных органов, электро- и радиожгутов.

Трудоемкость монтажа электро- и радиожгутов зависит от их конструктивного оформления. Наиболее трудоемкой является прокладка жгутов внутри агрегатов с протягиванием их через отверстия в конструктивном наборе и креплением их к элементам набора. Более удобен и менее трудосмок монтаж жгутов в желобах, гротах, траншеях, особенно если к желобам и траншеям есть доступ снаружи. Наиболее совершенным с точки зрения быстроты процесса сборки является монтаж, когда провода заранее на верстаках собирают и закрепляют в специальных съемных коробах, которые затем устанавливают и закрепляют на местах, предусмотренных конструкцией. Жгуты при помощи типовых металлических хомутов с резиновой обкладкой (рис. 21.7) крепят болтами с анкерными гайками. Для крепления жгутов с малым количеством проводов и ответвлений применяют «лирочный» хомут (см. рис. 21.7, в), не требующий сверления отверстий в конструкции. Такой хомут устанавливают заранее на жгут при подготовке к монтажу.

Соединения по магистралям (электро-, радио-, гидрогазовые и др.) в местах разъемов отсеков должны выполняться без подгонки с использованием компенсаторов (рис. 21.8).

После прокладки электрожгутов и радиокабелей проводится проверка сопротивления изоляции проводов жгутов.

Затем производится просветка цепей питания систем, энергоузлов и особо важных цепей систем оборудования, двигателей и управления самолетом. При этом применяются различные пульты контроля и имитаторы систем и агрегатов, которые нельзя вклю-

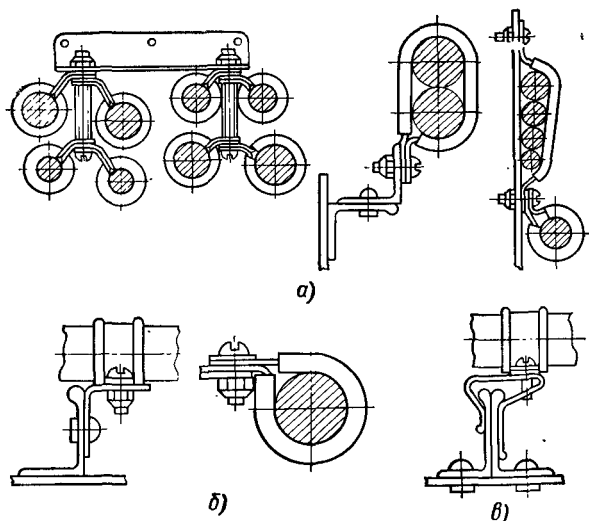


Рис. 21.7. Типовое крепление жгутов хомутами:
а — групповое; *б* — индивидуальное; *в* — «лирическое»

чать в сборочном цехе (двигателей, РЛС, специальных систем и т. д.).

Проверку систем радиооборудования и специальных систем в цехе окончательной сборки систем выполняют после просветки систем энергопитания и отработки системы управления самолетом.

Проверка производится обычно в минимальном объеме, гарантирующем работоспособность оборудования, и, как правило, ограничивается проверкой встроенным контролем систем с целью получения минимальной трудоемкости, имея в виду более глубокую инструментальную проверку в КИС.

Для монтажных работ применяют специальный и универсальный инструмент. Для монтажа и испытаний самолетов и вертолетов цехи общей сборки оборудуются различными стендами: для безнивелировочного соединения агрегатов; испытания на герметичность; опрессовки; для отработки подъема и выпуска шасси, тормозов, закрылков, радиооборудования; для проверки электроцепей и др. Стенды снабжены цеховыми

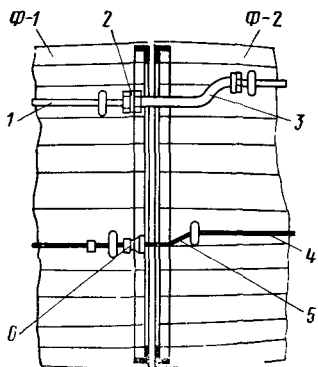


Рис. 21.8. Применение компенсаторов в соединении магистралей в раземе двух отсеков Ф-1 и Ф-2:

1 — трубопровод; *2* — разъем трубопровода; *3* — гибкий шланг-компенсатор; *4* — электрожгут; *5* — свободная часть электрожгута; *6* — шпательный разъем

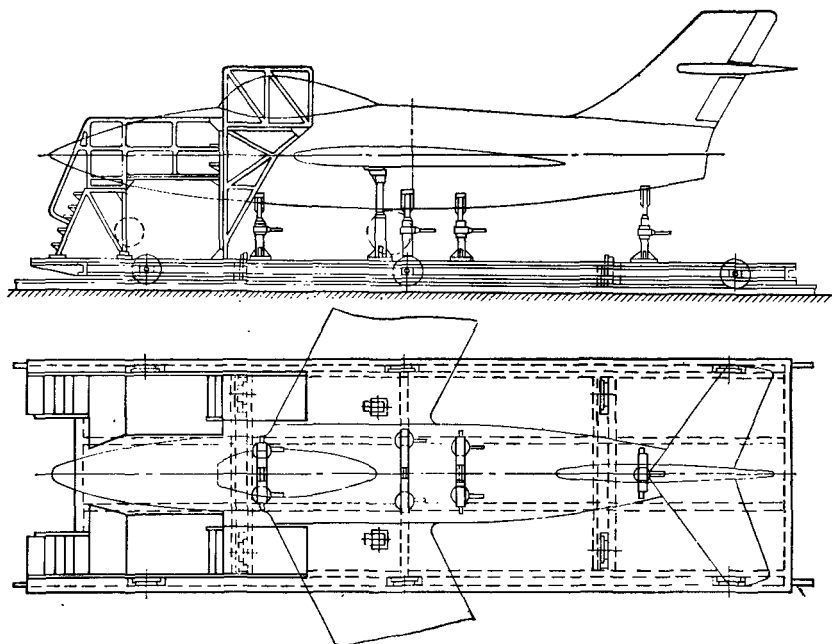


Рис. 21.9. Конвейерная тележка для сборки легкого самолета с поперечными колесами для перемещения с одной линии на другую

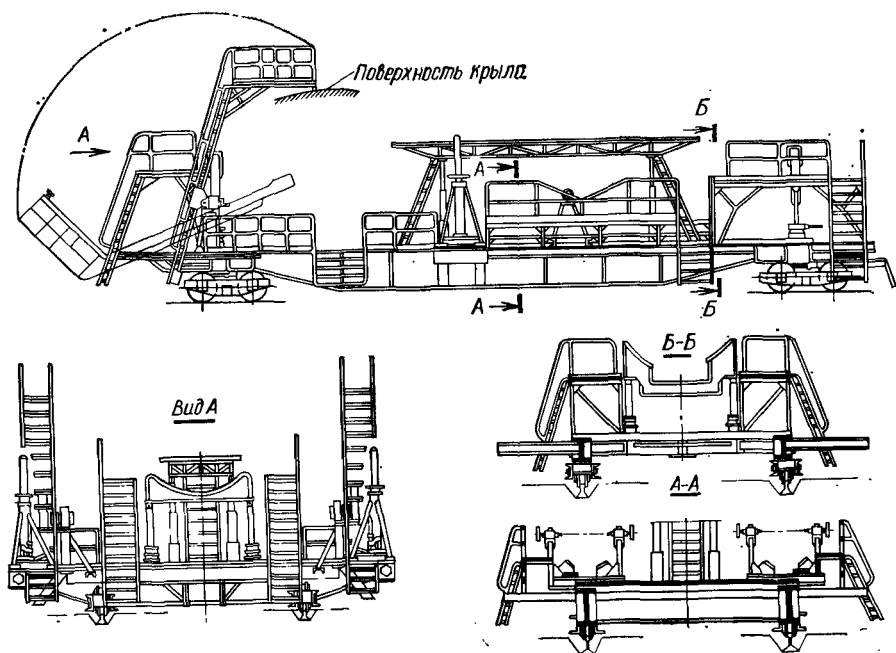


Рис. 21.10. Конвейерная тележка для сборки тяжелого самолета

и мобильными источниками энергии и питания. Стендовые и вне-стендовые рабочие места оборудованы слесарными верстаками, подъемными и регулируемым козелками, стремянками. Общесборочные цехи имеют мостовые краны и такелажные приспособления. Для перемещения агрегатов и собираемого самолета на линиях общей сборки применяют различные типы конвейерных тележек или устройств на воздушной подушке (рис. 21.9 и 21.10).

Собранные в цехе общей сборки самолеты (вертолеты) в малярном цехе покрывают бесцветными лаками и красками и при помощи трафаретов наносят опознавательные знаки, номера и соответствующие надписи.

Самолеты, отправляемые железнодорожным транспортом, окрашивают перед сдачей на контрольно-испытательную станцию (КИС), а отправляемые по воздуху — перед летными испытаниями.

Окрашенный самолет испытывают на герметичность на специальных стендах, а на водонепроницаемость — в дождеваль-ной камере.

Техника безопасности

К выполнению монтажных и сборочных работ и аэродромных испытаний допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности.

В отсеках, где размещены подвижные устройства или механизмы с внешним управлением, необходимо предусматривать ограждения и блокировку.

На время отработки гидросистем шасси, закрылков, тормозных щитков, стабилизаторов и других подвижных систем планера на функционирование должна быть установлена специальная система сигнализации и ограждение опасной зоны для предупреждения несчастных случаев.

При монтаже и продувке систем азотом (кислородом), зарядке азотом (кислородом), проверке на герметичность и функционирование систем и оборудования, проверке герметичности систем фреоно-воздушной смесью необходимо соблюдение правил противопожарной безопасности. Недопустимо попадание масел и жиров на кислородное оборудование ввиду взрывоопасности. Во время зарядки самолетных систем кислородом запрещается работа электрических машин в радиусе 20 м, а применение огня — до 25 м.

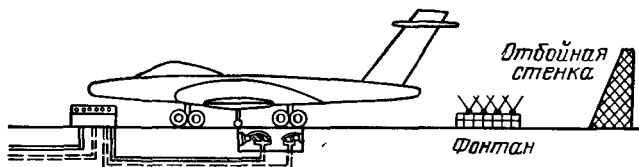


Рис. 21.11. Площадка с отбойной стенкой для отработки двигателей

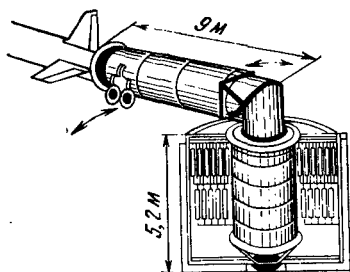


Рис. 21.12. Стационарный аэродромный глушитель

Все электрические цепи изделия должны быть обесточены. При испытаниях и отработке кислородных систем следует пользоваться только источниками освещения во взрывобезопасном исполнении.

Слесарно-доводочные работы на участке промывки и заправки жидкостью запрещены. Средства заправки жидкостями должны храниться в специальном помещении.

Перед аэродромными испытаниями самолеты (вертолеты) заправляются топливом и маслами только

от разборных колонок или специальных автозаправщиков при соблюдении правил противопожарной безопасности.

Для проверки работы шасси самолет поднимается гидродомкратами и на случай их неисправности поддерживается страховочными домкратами. Находиться в зоне во время отработки шасси запрещается.

Рабочая площадка для отработки двигателей должна быть оборудована специальными отбойными стенками (рис. 21.11) или глушителями (рис. 21.12). С целью защиты входного сопла двигателя от попадания механических предметов рабочие места для отработки двигателей должны быть оснащены специальными устройствами с предохранительными сетками.

Работы на высоте более 1,0 м должны производиться с настилов, подмостков и стремянок, огражденных перилами, высотой не менее одного метра. Работы на плоскостях, фюзеляже и других неогражденных поверхностях на высоте более 1,5 м должны выполняться с применением предохранительного пояса, отвечающего требованиям ГОСТ 5718-77, и страховочных тросов, закрепленных за неподвижные специальные узлы на самолете и натянутые вдоль фюзеляжа и плоскостей.

§ 2. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Организация контрольно-испытательных работ на серийном заводе

Обеспечение стабильного и высокого качества выпускаемых самолетов, их высокой надежности и долговечности требует повседневного совершенствования методики и технологии контроля, улучшения организационных форм его. Это совершенствование должно базироваться на научных принципах.

Одним из путей совершенствования контроля является объективизация его на базе широкого применения автоматических и полуавтоматических средств контроля, широкого внедрения в тех-

нологию контроля электронной техники, методов и средств неразрушающего контроля.

В качестве критерия, характеризующего степень приспособленности оборудования под контроль, может служить коэффициент контролепригодности, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{N_a} t_{ai}}{\sum_{i=1}^{N_a} t_{ai} + \sum_{i=1}^{N_B} t_{bi}}, \quad (21.3)$$

где t_{ai} — машинное время контроля; t_{bi} — вспомогательное время.

Можно считать, что изделия, имеющие коэффициенты $\eta = 0,85 \dots 0,95$, обладают хорошей контролепригодностью.

Широкое применение сложной контрольно-измерительной техники и средств автоматического контроля требует новых организационных форм. Как показал опыт, наиболее рациональной формой в современных условиях является организация лабораторных центров, объединяющих лаборатории по функциональному признаку. Организация лабораторных центров позволяет сконцентрировать ценное испытательное оборудование и инженерные кадры, что, кроме других преимуществ, даст возможность проводить глубокие научные работы по совершенствованию методов контроля и испытаний.

Структура и схема организации контроля с участием лабораторных центров показаны на рис. 21.13.

В цехах и на производственных участках организуются контрольно-проверочные пункты (КПП), являющиеся отделениями лабораторных центров, а в некоторых случаях создаются контрольно-технологические лаборатории. Между лабораторными центрами должно быть четкое разграничение функций, работа центров должна быть скоординирована по единому плану. Важным направлением совершенствования технологии контроля является стандартизация и типизация контрольных операций и контрольного оборудования.

Большое значение для получения стабильного качества деталей имеет непрерывный процесс контроля в том случае, когда процесс обработки является не стабильным, а меняется по времени.

В таком случае процесс прерывистого контроля (т. е. контроль в начале и в конце операции) дает возможность в лучшем случае лишь определить качество детали, но не влиять на него.

Однако, не во всех случаях необходимо пользоваться системой непрерывного объективного контроля качества изготавливаемых деталей. Это объясняется, в первую очередь, экономическими соображениями, так как внедрение такого контроля сопровождается значительными материальными затратами.

Совершенствование системы допусков и посадок на изготовление, монтаж деталей, агрегатов и систем бортового оборудования самолета даст возможность широко использовать прерывистые методы пооперационного контроля при изготовлении малоответственных деталей.

Все методы пооперационного, как и других видов контроля, сведены в классификаторы и закодированы условным шифром. Конструкторы и технологи по классификатору назначают тот или иной метод контроля, использующийся в данном стандартизированном технологическом процессе.

В системе сквозного контроля для различных этапов изготовления, сборки и монтажа деталей и узлов определены контролируемые параметры, средства контроля и исполнители.

Особое внимание при разработке схемы сквозного контроля должно быть уделено следующим вопросам:

проверке деталей перед сборкой и монтажом на соответствие ТУ;

проверке функционирования готовых изделий;

контролю функционирования агрегатов, панелей и узлов перед окончательной сборкой;

обеспечению необходимой взаимозаменяемости панелей, агрегатов и отсеков;

обеспечению высокой надежности функционирования систем бортового оборудования по проверяемым параметрам после сборки самолета;

обеспечению высокой надежности работы самолета после доводки его на ҚИС;

сокращению процесса летных испытаний с одновременным улучшением характеристик качества и надежности выпускаемых самолетов;

важным направлением совершенствования контроля является разработка научных основ выбора контролируемых параметров и допустимых пределов их изменений, разработка научно обоснованных программ контроля и испытаний самолетов, а также его агрегатов и систем.

Оптимизация технологических процессов контроля

Под оптимальным технологическим процессом контроля понимается такая организация контроля на производстве, которая обеспечивает получение максимальной эффективности управления процессом. Основная проблема при оптимизации технологического процесса контроля направлена на решение двух кардинальных задач (рис. 21.14):

сокращение времени контроля;

повышение достоверности результатов контроля.

Рассмотрим более подробно только две основные характеристики технологического процесса контроля качества систем самолета — это быстроту и полноту контроля, которые наиболее существенно влияют на длительность технологического цикла отработки систем в цехе основной сборки и на ҚИС.

Для более полного представления о количестве стыковочных точек современного самолета легкого класса на рис. 21.15 указаны места подключения авто-

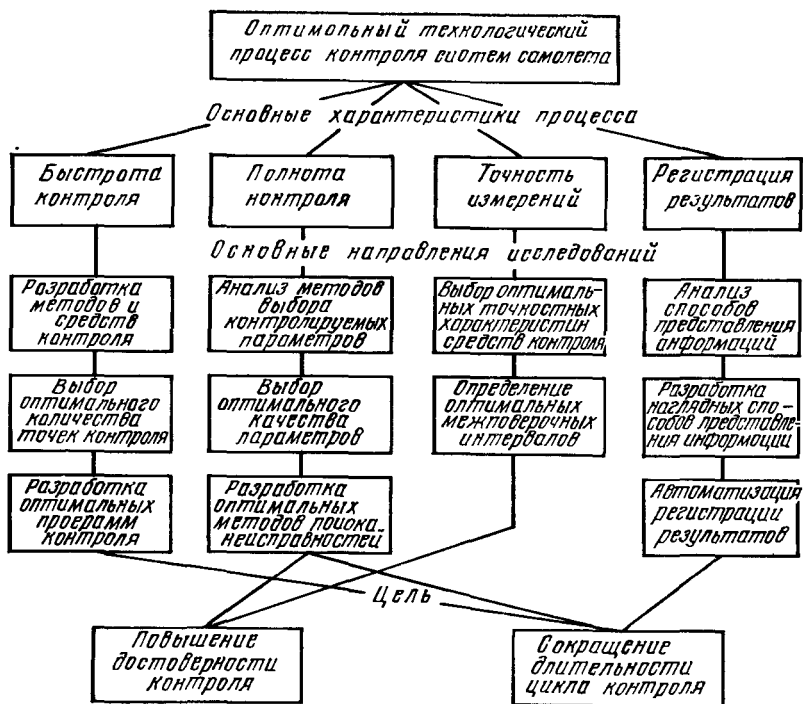


Рис. 21.14. Основные направления оптимизации технологического процесса контроля

матризированной аппаратуры контроля для отработки систем электроприборного оборудования в условиях КИС. Имеется несколько путей улучшения приспособленности борта самолета под автоматизированный контроль.

1. Установка на борту самолета специальных коммутаторов уплотнителей информации.

2. Установка дополнительных контрольных разъемов и расположение их в удобных для работы местах.

3. Расположение технологических промежуточных разъемов в удобных для работы местах.

Первый способ требует установки на борту дополнительной аппаратуры и прокладку трасс связи. Испытания показали, что этот вариант пока не является оптимальным, поскольку возникает трудность в создании коммутаторов, способных пропускать широкий диапазон сигналов без искажений, и кроме того, элементы, применяемые в коммутаторах, пока еще не являются достаточно надежными. Стыковку самолета с аппаратурой контроля в этом случае можно осуще-

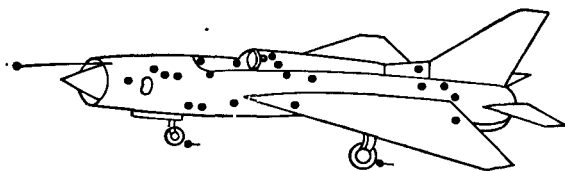


Рис. 21.15. Места подключения контрольной аппаратуры на самолете

Таблица 21.1

Система	$t_{в}$ до дора- ботки, мин	$t_{в}$ после дора- ботки, мин	η До дора- ботки	η после доработки
Курсовая система	60	1,5	0,1	0,8
Автопилот	6	2	0,62	0,83
Лвиагоризонт	10	10	0,41	0,41
Гировертикаль	40	3	0,14	0,7
Система автоматического регулиро- вания управления	5	5	0,8	0,8
Система управления воздухозабор- ником	6	6	0,62	0,62

ствлять через один 50-клеммный разъем. Естественно, что вспомогательное время в этом случае по сравнению с временем контроля составляет незначительную величину.

Второй способ связан также с установкой дополнительных элементов и прокладкой трассы связи. Этот способ также, как и первый, требует специальной доработки готовых изделий, что связано с большими затратами и длительным процессом до внедрения в серию. Исключение составляют только уже имеющиеся контрольные разъемы. Задача в этом случае сводится к выбору места расположения этого контрольного разъема с таким расчетом, чтобы как можно меньше затрачивалось времени на доступ к нему. В условиях серийного производства наиболее целесообразной является установка промежуточных технологических разъемов в удобных для работы местах. В этом случае может не потребоваться прокладка дополнительных трасс, а только необходимо будет изменить расположение жгутов. Отработка систем осуществляется через эти технологические разъемы. Проведение доработки по последнему способу дает наибольший эффект в сокращении вспомогательного времени в условиях серийного производства.

В качестве критерия, характеризующего степень приспособления борта под контроль, целесообразно взять коэффициент использования цикла отработки оборудования самолета, который определяется из выражения (21.3).

Из этой формулы видно, что наиболее благоприятный случай будет при $\eta = 1$. Учитывая неизбежность открывания и закрывания лючков, можно считать, что величину коэффициента использования цикла отработки η более 0,85 ... 0,95 получить практически трудно на серийном самолете, не приспособленном специально под контроль.

В табл. 21.1 показано изменение η до доработки и после доработки борта по системам, выполненной на одном из заводов.

Анализ борта самолета показывает, что борт еще недостаточно приспособлен под автоматизированный контроль. Это указывает на то, что необходимо совместно разрабатывать как объект контроля, так и средства контроля.

Общая характеристика контрольных испытаний бортового оборудования

Цель контрольных испытаний — проверка соответствия изготовленных в серийном производстве самолетов установленным технологическим условиям или эталонному образцу, прошедшему соответствующие испытания (заводские, министерские, государственные). Полностью собранное бортовое оборудование прове-

ряют на работоспособность и функциональное взаимодействие всего комплекта систем самолета на контрольно-испытательной станции (КИС), а непосредственную подготовку самолетов к испытаниям в воздухе проводят в аэродромном цехе (летно-испытательной станции).

Методы и средства, применяемые при контроле бортового оборудования на контрольно-испытательной станции, аналогичны методам и средствам контроля бортового оборудования в агрегатных цехах.

На контрольно-испытательных станциях проводят:

1) отработку электро-, радиооборудования и приборов самолета (ЭРО), для чего проверяют:

работу электрооборудования самолета;

работу автопилота и синхронность отклонения органов управления;

герметичность барометрических приборов;

работу и настройку радиостанций по всем диапазонам и режимам на работающую радиостанцию, на двустороннюю связь, на прием и передачу;

работу внутрисамолетной связи;

2) проверку работы радиолокационного оборудования самолета, наладку и настройку его по техническим требованиям и условиям;

3) проверку системы управления самолетом: положение и синхронность отклонений рулей, элеронов и штурвалов; отклонения триммеров, элеронов и рулей и сигнализацию механизмов управления триммерами;

4) отработку шасси, для чего проверяют:

подъем и выпуск шасси с замером времени, последовательность работы и сигнализацию;

аварийный выпуск шасси с замером времени;

работу тормозной системы самолета, раздельное и одновременное растормаживание и затормаживание колес.

Основная масса контрольной оснастки и стендов контрольно-испытательной станции благодаря своей универсальности аналогична контрольному оборудованию, применяемому в цехе окончательной сборки. Однако отдельные операции по отработке и контролю систем на функционирование в КИС выполняют контрольно-испытательной аппаратурой, отличной от применяемой в цехе окончательной сборки. Например, для проверки работоспособности электроцепей и автоматики переключения используют пульт с автоматической сигнализацией о неисправности в проверяемой электросистеме. При помощи пульта можно проверить электроцепи обогрева аккумуляторов, управления сиденьем пилота, противопожарной системы, обогрева гермошлема, термопар и их сопротивления, обогрева кабины и т. д. При проверке стенд с источником электроэнергии подключают к бортовой розетке аэродромного питания, а технологические (переходные) жгуты

пульта — к разъемам проверяемых цепей. При включении соответствующих переключателей на пульте и кабине самолета по контрольному амперметру и сигнальной лампочке на пульте проверяют работоспособность электроцепи.

Для отработки гидросистемы на функционирование применяют универсальный стенд, при помощи которого можно также проверить герметичность топливной системы и кабины пилота. При испытании на герметичность воздух в кабину пилота подается через штуцер патрубка наземной вентиляции, с которым связан электроконтактный манометр для замера давления в кабине. Сигнализатор давления заблокирован с электропневмоклапаном, обеспечивающим дренаж при повышении давления на входе в кабину. Для автоматического определения времени спада давления в кабине на стенде установлен электросекундомер, заблокированный с электропневмоклапаном наполнения кабины и с электроконтактным манометром. Перед отработкой гидросистемы на функционирование самолет необходимо установить на гидроподъемник. Управление гидравлическими агрегатами при этом осуществляется из кабины пилота.

Контрольно-испытательная станция должна быть оборудована девятиционной площадкой, а также транспортными машинами, тягачами, специальными снегоуборочными и поливочными машинами, топливо- и маслозаправщиками, электрокарами, тележками для перевозки баллонов, аккумуляторов и других грузов.

Рабочие места для отработки систем самолета, помимо специфических контрольных средств, оснащены типовым оборудованием: гидроподъемниками, стремянками, козелками, тормозными колодками, источниками питания электроэнергией и воздухом, передвижными аэродромными компрессорами, аккумуляторными батареями и т. п. Это оборудование может быть стационарным или подвижным. В зависимости от класса самолетов, находящихся в отработке, меняется состав наземного оборудования, которым оснащается каждое рабочее место.

После отработки, контроля и регулирования отдельных систем самолет транспортируют на девятиционную площадку, где проверяют по пеленгатору и корректируют показания магнитных, гиромагнитных приборов и радиокompасов. Для списывания девятицион компасов самолет устанавливают на поворотном круге. Далее определяют полетную массу и положение центра масс самолета, взвешивая его в двух или более вариантах загрузки (пустой самолет с несъемным оборудованием и полностью загруженный).

Одним из основных путей повышения качества испытаний и надежности самолетов (вертолетов) является применение автоматических объективных средств автономного и комплексного контроля и испытания бортового оборудования.

Применяются различные принципы проверок при помощи автоматических устройств. Самый простой — проверка по принципу

«да—нет». Если стенд не показывает дефектов, то он как бы отвечает «да», т. е. принимает контролируруемую систему. Если стенд обнаруживает дефект, он автоматически прекращает проверку.

Технологические процессы и методы настройки и контроля бортового оборудования

В зависимости от объема выпускаемой продукции и совершенства производственного процесса изготовления самолетов работы на КИС могут быть организованы либо *бригадным*, либо *поточно-стендовым*, либо *смешанным* методами. Например, отработка и настройка систем самолетного оборудования может производиться поточно-стендовым методом, а все остальные работы — бригадным методом.

При бригадном методе отработки самолета основной структурной единицей на КИС является универсальная бригада, которая проводит все работы по отработке и настройке систем и всего самолетного оборудования, подготовке к вылету, проведению регламентных работ и сдаче самолета представителю заказчика.

Такой метод работы является наименее совершенным с точки зрения качества подготовки самолета, трудоемкости и стоимости работ, причем, высокая стоимость работ объясняется не столько трудоемкостью технологического процесса, сколько большим числом дополнительных полетов, вызываемых необходимостью устранения различного рода неисправностей и дефектов.

Промежуточной является схема организации работ, при которой отработка и настройка систем и всего самолетного оборудования производятся поточно-стендовым методом, а подготовка самолетов к летным испытаниям, проведение регламентных работ и сдача представителю заказчика — бригадным методом.

Такой метод имеет ряд преимуществ по сравнению с бригадным, так как большинство работ производится на специализированных стендах, которые оснащены комплексом средств объективного контроля, позволяющим контролировать работу систем по командным параметрам. Увеличение количества проверяемых параметров позволяет более качественно производить доводочные и наладочные работы, что значительно снижает количество дополнительных полетов, необходимых для выявления и устранения неисправностей и дефектов, связанных с некачественной регулировкой и доводкой систем и всего оборудования самолета.

При организации работ поточно-стендовым методом, начиная с отработки и настройки систем и кончая сдачей самолета заказчику, настройка и контроль систем и подготовка к испытательным полетам осуществляются специализированными лабораториями.

Этот метод работ является наиболее прогрессивным, однако возвращение самолетов после полетов обратно в лаборатории КИС приводит к излишним простоям самолетов из-за возникновения двух встречных потоков самолетов в специализированных

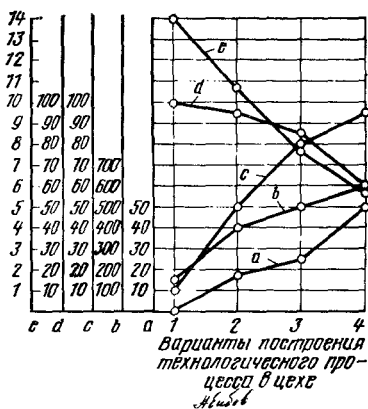


Рис. 21.16. Основные технико-экономические показатели различных методов организации работ на КИС:

a — число внедренных стендов на рабочих местах; *b* — число проверяемых параметров; *c* — бездефектная сдача продукции БТК и заказчику в %; *d* — число производственных рабочих в %; *e* — число фактических полетов при летных испытаниях в среднем на один самолет

лабораториях — потока из сборочного цеха и потока с летных испытаний.

Ликвидировать встречные потоки возможно лишь при наличии на ЛИС (на участке стартового обслуживания) специализированных

лабораторий, которые позволяют производить настройку и контроль проверяемых параметров с той же точностью и в том же объеме, что и на специализированных стендах.

Специализированные стартовые лаборатории, получившие название экспресс-лабораторий, монтируются на шасси грузовых автомобилей, что позволяет производить предстартовую настройку и доводку систем самолета в любом месте аэродрома.

В настоящее время оборудованы экспресс-лаборатории, предназначенные для технического обслуживания радиоэлектронного оборудования, электроприборного оборудования и силовых установок.

При использовании экспресс-лаборатории на одном из заводов для отработки систем электроприборного оборудования по программе КИС общее время контроля составляет 2 ч против 7 ч при старой бригадной методике работы, в то время как число контролируемых параметров на 30 больше по сравнению с программой КИС.

Экспресс-лаборатории силовой установки предназначены для оперативного технического обслуживания силовой установки самолета в условиях ЛИС.

С помощью этой экспресс-лаборатории осуществляется контроль и настройка силовой установки как при предполетной подготовке, так и после полета непосредственно на стартовой линейке.

Общее число контролируемых параметров 55, причем контролируются такие важные параметры, как работа электроавтоматики двигателя, параметры газоздушного тракта, работа самолетного воздухозаборника. Общее время контроля составляет 30 мин против 1 ч при бригадном методе.

Основные технико-экономические показатели разработанных и сравниваемых методов организации работы на КИС представлены на рис. 21.16.

Анализ статистических материалов летных испытаний на ряде самолетостроительных предприятий показывает, что отказы,

связанные с подбором блоков или повторными перерегулировками, составляют 60 ... 80 % всех выявленных отказов спецоборудования при проведении летных испытаний.

Следовательно, основной задачей КИС должно являться снижение количества доводочных работ по результатам летных испытаний и разработка технически обоснованных рекомендаций поставщикам для реализации в поставляемых ими системах.

Другим важным фактором в решении задач контрольно-испытательной станции является получение достоверной информации о возникающих летных отказах.

Наиболее оптимальной структурой КИС является слияние обязанностей участков по отдельным системам с обязанностями бригады, выпускающей самолет в полет. Это необходимо понимать в том смысле, что специализированный участок КИС, помимо контроля на стенде, обеспечивает устранение дефекта и повторный выпуск самолета на летные испытания. В этом случае КИС всем ходом технологического процесса обязана заниматься анализом выявленных отказов и совершенствованием методов предполетного контроля. Этому во многом способствует то обстоятельство, что КИС получает полностью всю первичную информацию о состоянии систем и полностью отвечает за облет самолета. Как показывает опыт, такая структурная взаимосвязь КИС с летными испытаниями является наиболее оптимальной, сравнительно легко реализуемой и не требует значительного увеличения численности операторов и ИТР.

Вполне естественно, что такой метод работы КИС должен иметь соответствующие показатели, по которым можно было бы оценивать его работу.

Таким показателями могут являться коэффициент эффективности предполетной подготовки $K_{вф}$ и коэффициент доводочных работ $K_{д.р.}$

Коэффициент эффективности предполетной подготовки определяется по формуле

$$K_{вф} = \frac{n_з}{n_з + n_в}, \quad (21.4)$$

где $n_з$ — количество отказов, выявляемых при проведении предполетного контроля на КИС; $n_в$ — количество отказов, выявленных при проведении летных испытаний.

Максимальная эффективность КИС будет равна единице, когда $n_в$ будет равен нулю. Применение этого коэффициента позволяет в целом оценить работу КИС. Недостатком этого коэффициента является невозможность выделения основного направления в работе КИС, которое является основным в разработке мероприятий по устранению отказов.

Так как доводочные работы по результатам летных испытаний свидетельствуют о недостаточной достоверности методов и средств предполетного контроля, то критерием достоверности применяемых

методов может являться отсутствие отказов, связанных с регулировками, подбором элементов и т. п. при проведении летных испытаний. Этот критерий также является критерием функциональной взаимозаменяемости системы.

Исходя из этого, для оценки технической эффективности методов и средств контроля и настройки на КИС необходим показатель, который позволил бы учитывать методическую составляющую достоверности контроля, так как при современном уровне техники инструментальная составляющая достоверности контроля достаточно высока. Тогда коэффициент доводочных работ

$$K_{д.р}' = \frac{n_{в'}}{n}, \quad (21.5)$$

где $n_{в'}$ — количество отказов, связанных с доводкой и регулировкой систем, выявленных при проведении летных испытаний; n — программа машин.

Коэффициент $K_{д.р}$ показывает количество доводочных работ, приходящихся на один самолет при проведении испытаний системы на n самолетах. Исходя из опыта, можно утверждать, что значения $K_{д.р}$ в пределах 0,015 ... 0,22 обеспечивают вполне достаточную достоверность предполетного контроля и являются вполне реализуемыми величинами. Аналогично для коэффициента эффективности предполетной подготовки значения $K_{эф}$ в пределах 0,7 ... 0,8 характеризуют достаточно эффективную работу КИС.

Конечным результатом наземного контроля является выполнение системой в полете заданных ТТТ. В некоторых случаях это обеспечивается при значениях реальных параметров, отличных от требований технической документации при проверке этих параметров на стенде.

В этих случаях вопрос о допустимых значениях реальных параметров должен решаться совместно с заинтересованными организациями (например, изготовитель, ОКБ и потребитель).

§ 3. ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ САМОЛЕТОВ (ВЕРТОЛЕТОВ)

Как бы основательно ни был проведен комплекс наземных испытаний, все самолеты и вертолеты обязательно испытывают в полете. Летные испытания позволяют одновременно проверить действие всех систем бортового оборудования в условиях эксплуатации и поведение самолета в воздухе. Летные испытания серийных самолетов состоят из четырех основных этапов:

- аэродромные наземные испытания,
- подготовка самолета к летным испытаниям,
- летные испытания,
- последполетная обработка самолета и отправка самолета заказчику (экспедиция).

Основные операции аэродромных испытаний проводятся в помещении контрольно-испытательной станции, а часть — на летно-испытательной станции.

Аэродромные испытания включают следующие работы.

Отработка топливной системы. Самолет заправляют топливом и проверяют герметичность агрегатов топливной системы. Затем проверяют топливную систему на слив и определяют несливаемый остаток топлива, подсчитывая разницу между залитым и слитым топливом. Вновь заправляют самолет топливом, поочередно сливая топливо из баков, замеряют критический остаток топлива и проверяют тарировку топливомеров фактическим замером топлива, сливаемого из баков.

Отработка двигателей. После расконсервации двигателя запускают и отработывают на различных режимах, проверяя приемистость и синхронность работы двигателей, а также сигнализацию отдельных агрегатов и механизмов силовой группы. Одновременно проверяют работу связных радиостанций на двустороннюю связь; приборного оборудования, компасов и высотного оборудования; противообледенительной системы, замеряя температуру и давление через определенное число оборотов.

При подготовке самолета к летным испытаниям дозаправляют самолет топливом, сжатым воздухом и гидросмесью; проверяют катапультируемые сиденья, кинематику замков аварийных люков. Наполняют кислородную систему самолета кислородом и проверяют ее герметичность. Проводят общий осмотр самолета, проверяя, нет ли в нем посторонних предметов. Заряжают пиромеханизмы.

Перед полетом проверяют работу двигателей на разных режимах, показания приборов и исправность переговорных и радиосвязных средств.

Во время летных испытаний проверяют взлетно-посадочные свойства (увод, торможение); скороподъемность до практического потолка, устойчивость при наборе высоты и работу всех видов оборудования на различных высотах;

максимальные горизонтальные и вертикальные скорости при снижении на определенном режиме;

устойчивость, управляемость и маневренность самолета; перегрузки;

расход топлива и максимальную дальность полета; работоспособность и дальность действия радиосредств; работу систем бортового оборудования.

Пример графика профиля полета изображен на рис. 21.17. Задания на приемо-сдаточные испытательные полеты разрабатываются на основании требований проверки всех агрегатов и систем самолета в целом в условиях эксплуатации на всем диапазоне высот и скоростей. При этом контролируемые параметры доводятся до норм ТУ.

Особое место в процессе приемо-сдаточных испытаний уделяется контролю и доводке аэродинамических и, в частности, баланси́ровочных характеристик.

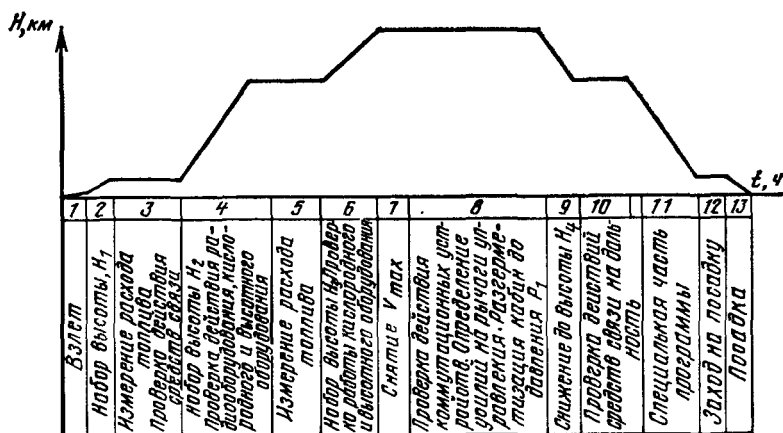


Рис. 21.17. График профиля полета

В результате усложнения бортовых систем самолетов число проверяемых параметров у каждого нового типа самолета по сравнению с предыдущими типами постоянно растет. Число проверяемых цепей в электропроводке в настоящее время достигает 30 000, а в релейных коробках 15 000. Общее количество контролируемых параметров бортовых систем в процессе предполетной подготовки превысило 5000. Поэтому с целью повышения эффективности летных приемо-сдаточных испытаний, принятия научно-обоснованных решений по их результатам важно постоянно вести статистический анализ результатов летных испытаний.

Задачей статистического анализа результатов летных приемо-сдаточных испытаний является оценка не только вероятности обнаружения отказов (оценка эффективности проверок), но и вероятности устранения выявленного дефекта после одного, двух или больше полетов. Особенно это относится к устранению аэродинамических дефектов, которые могут повторяться от полета к полету.

Для статистического анализа могут быть взяты материалы летных испытаний самолетов, представленные в сводных табуляграммах отдела надежности завода.

В качестве математической модели самолета может быть принята цепь последовательно соединенных, независимых друг от друга блоков и систем (табл. 21.2).

В этом случае отказ какой-либо системы равносителен отказу изделия в целом, как это принято считать при сдаточных и приемных испытаниях. Под отказом понимается любое замечание летчика-испытателя, записанное в полетном листе.

Хотя фактически большинство систем связано друг с другом, например, общими источниками питания и т. д., и в этом смысле не являются независимыми, доброкачественность принятой модели не вызывает сомнения, поскольку в каждом конкретном случае

Шифр системы	Наименование проверяемой системы	Группа работ
001	Продольная балансировка	Аэродинамическая доводка самолета
002	Поперечная балансировка с выключенными гидроусилителями	
003	Поперечная балансировка с включенными гидроусилителями	Проверка работы системы бортового оборудования самолета
004	Путевая балансировка	
008	Слловая установка	
009	Радиостанция	
010	Планер и системы планера: гидравлическая, топливная и т. д.	

определяется истинная причина отказа конкретного блока, при этом остальным зависимым системам отказ не засчитывается.

Отказы, выявленные в первом полете, характеризуют качество доводки самолета, выполненной на предыдущих стадиях производства до начала летных испытаний.

Летная доводка самолета, начиная с момента, когда обнаружен отказ, производится до полного его устранения, поэтому можно говорить о вероятности устранения отказа после одного, двух и более доводочных полетов.

Во втором и последующих полетах может проявиться дефект, который не был обнаружен или не имел места ранее. В этом случае принято говорить о *внезапном отказе* и *вероятности внезапного отказа*.

Наконец, надежность работы системы после первого второго и последующих полетов может быть определена как $1 - P_{\text{отк}}$, где $P_{\text{отк}}$ — соответствующая вероятность отказа системы.

Для определения экспериментальным путем указанных вероятностей могут быть использованы данные табл. 21.3.

Вероятность доводки до начала летных испытаний определяется по результатам первого полета и равна

$$P_{\text{дов}} = 1 - P_{\text{отк}1}, \quad (21.6)$$

где $P_{\text{отк}1}$ — вероятность отказа в первом полете.

Вероятность отказа бортовой системы равна отношению числа отказов в полете к числу участвовавших в испытании изделий. Вероятность доводки за один полет определяется по результатам второго полета по той же формуле, но при подсчете $P_{\text{отк}1}$ нужно брать отношение числа повторных отказов к числу отказов в предыдущем полете. Например, для системы 002

$$P_{\text{отк}} = \frac{12}{203} \quad \text{и} \quad P_{\text{дов}} = 1 - \frac{12}{203} = 0,941.$$

Вероятность внезапного отказа определяется как отношение числа впервые обнаруженных отказов к числу изделий, не имевших отказов до данного полета. Например, по системе 002 во втором полете обнаружено 24 отказа, из них 12 повторных и 12 вновь обнаруженных. При первых полетах было обнаружено всего 203 отказа. Следовательно, если для анализа брались результаты испытаний 425 самолетов, то у 222 самолетов отказов не было. Тогда

$$P_{\text{отк. взез}} = \frac{12}{222} = 0,054.$$

Поскольку подсчитанные по статистическим данным вероятности не являются истинными, для них может быть найден доверительный интервал, т. е. границы, в которых находится истинная вероятность с заданной достоверностью определения.

Расчет границ доверительного интервала может быть выполнен по формулам:

$$P_{\min} = P - t_{\beta} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}, \quad (21.7)$$

$$P_{\max} = P + t_{\beta} \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}, \quad (21.8)$$

где P — экспериментальная оценка вероятности; t_{β} — табличная величина, определяемая для значения доверительной вероятности; n — число изделий, участвующих в испытаниях; P_{\min} и P_{\max} — нижняя и верхняя границы доверительного интервала.

Формулы справедливы при

$$\frac{P(1-P)}{n} \geq 10. \quad (21.9)$$

При послеполетной отработке проводят послеполетный осмотр самолета и по замечаниям летчика-испытателя устраняют обнаруженные в полете дефекты. Разряжают пиромеханизмы, сливают топливо, стравливают кислород и наполняют кислородную систему азотом. Затем консервируют двигатели и отдельные узлы самолета. Перед сдачей самолета в экспедицию его очищают внутри и снаружи. Работа экспедиции является завершающей в последовательности производства самолетов и зависит от вида отправки самолета по назначению. В случае отправки самолета железнодорожным транспортом или водным путем в экспедиции самолет расстыковывают по разъемам, разъединяют коммуникации, консервируют стыковые узлы, герметизируют места разъемов и упаковывают самолет в специальную тару. При отправке самолета воздушным путем в экспедиции консервируют съемное оборудование и запасные части.

Трудоемкость испытаний обычно составляет 6 ... 10 % общей трудоемкости изготовления самолета.

Для сокращения цикла аэродромной отработки самолетов на летно-испытательной станции применяют поточно-стендовый метод,

максимально возможное проведение параллельных круглосуточных работ. Для этих целей аэродромный цех должен быть оснащен соответствующим оборудованием.

Аэродромно-эксплуатационное оборудование состоит из следующих основных групп.

Технологическое оборудование для подготовки систем к полетам: контрольно-испытательные передвижные механизированные стенды для автономного и комплексного контроля бортового оборудования; ремонтное оборудование аэродромной мастерской и технико-эксплуатационной части.

Оборудование общего назначения:

универсальные питающие (электро-, пневмо-, гидроагрегаты) и заправочные агрегаты (топливозаправщик, маслосаправщик, воздухозаправщик, кислородная зарядная станция, заправщик огнегасящими средствами), отработочные стенды для гидрогазовых систем;

подъемно-транспортные машины (подъемно-транспортные самоходные краны, самоходные площадки, тягачи, грузовые тележки и мотороллеры);

специальные моечные машины для удаления снега и льда с поверхности самолетов;

средства малой механизации (унифицированные гидроподъемники, лестницы, стремянки), средства для закрепления самолетов при гонке двигателей, трубы для глушения шума.

Сооружения, склады и хранилища (для запасных частей, горюче-смазочных материалов), аккумуляторная станция, взлетно-посадочные полосы и рулежные дорожки, подъездные пути, сигнальные огни, грозозащитные средства, а также служебные и бытовые помещения.

Оборудование для обнаружения и наведения на аэродром летящих самолетов (передвижные и стационарные установки для дальнего и ближнего обнаружения, наведения, приводные радиостанции, система слепой посадки, телефонная и радиосвязь, антенные поворотные устройства, вычислительные центры, командные пункты).

Стеновая отработка самолетов в аэродромном цехе позволяет максимально применять механизацию, особенно в таких трудоемких процессах, как устранение и списывание девиации, установка самолета в линию полета, заправка самолета топливом, тарировка топливомеров, отработка и отстрел стрелково-пушечных установок.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ (ВЕРТОЛЕТОВ)

§ 1. СОДЕРЖАНИЕ, ОБЪЕМ РАБОТ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

Постановка на серийное производство новых самолетов и вертолетов требует большого комплекса подготовительных работ, объединяемых понятием «Технологическая подготовка серийного производства». Основными исходными данными при выполнении этих работ являются директивные материалы по изделию, подлежащему постановке на производство.

В общем случае технологическая подготовка серийного производства включает следующие работы, выполняемые во времени параллельно или параллельно-последовательно:

а) разработку директивных технологических материалов или директивной технологии;

б) проектирование и изготовление плазово-шаблонной и контрольно-эталонной оснастки;

в) разработку временного и серийного технологического процесса изготовления изделия;

г) проектирование и изготовление технологической оснастки, специального оборудования, средств механизации и контроля;

д) разработку прогрессивных технологических нормативов для определения трудоемкости изделия и расчетов потребности предприятия в рабочей силе, оборудовании и технологической оснастке, производственных площадях, материалах и полуфабрикатах, топливе и электроэнергии для технологических целей;

е) разработку документации технологического планирования и расцеховку изделия, т. е. установление номенклатуры и объемов работ цехов основного производства;

ж) подсчет рабочей силы, оборудования и технологического оснащения, производственных площадей и др., составление планов цехов и плана реконструкции предприятия;

з) отладку всех технологических и контрольно-испытательных операций, предусмотренных серийным технологическим процессом, на соответствующих рабочих местах.

Конкретное содержание и общий объем работ по технологической подготовке зависят от заданного объема и программы выпуска изделий, от степени сложности и новизны его конструкции, от качества технологической отработки изделия в процессе проектирования и изготовления опытного образца, от уровня кооперирования производства и других факторов.

Все работы по технологической подготовке выполняются в определенной последовательности и в сроки, определяе-

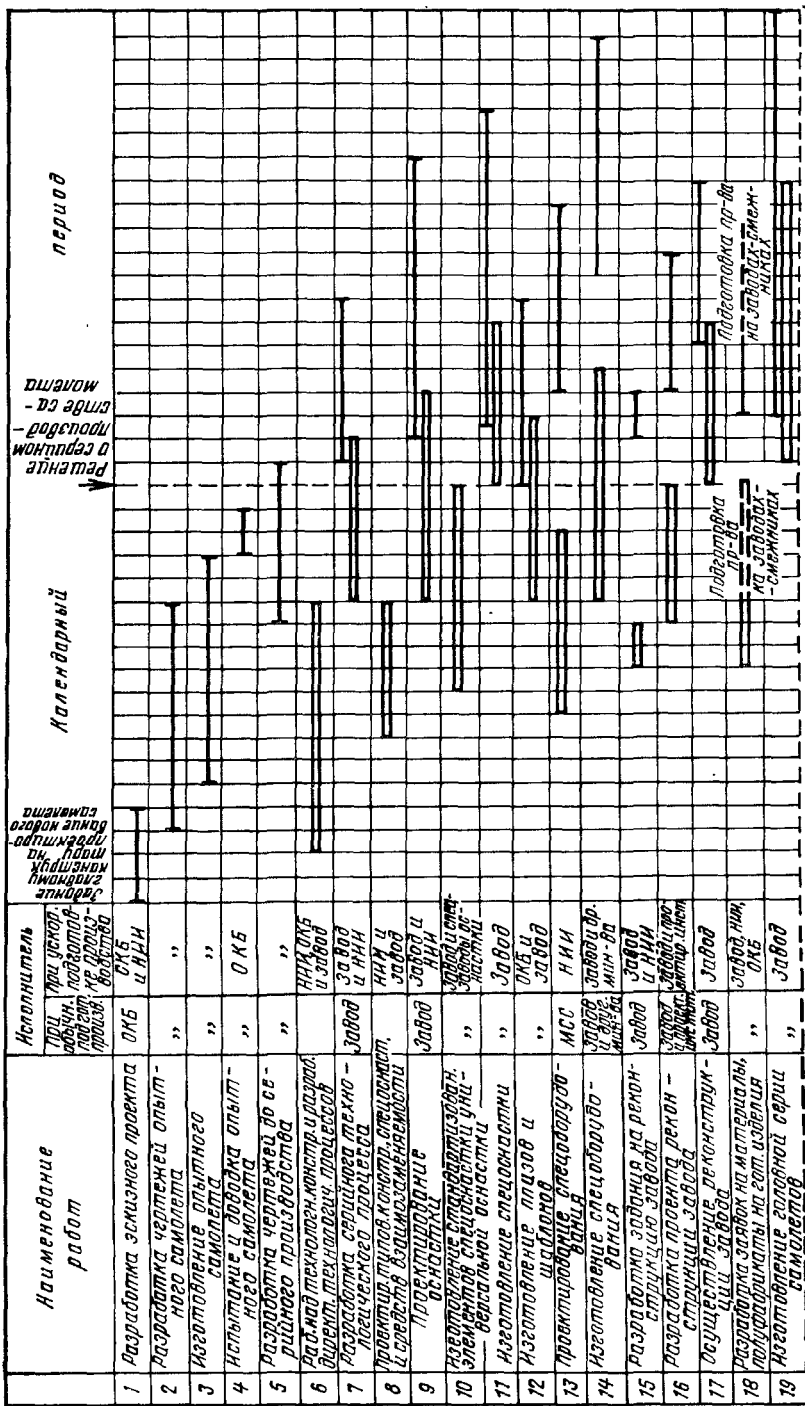


Рис. 22.1. График подготовки серийного производства для выпуска нового самолета

мые графиком подготовки производства нового изделия (рис. 22.1).

Календарное время выполнения всех работ по подготовке производства составляет цикл подготовки производства.

Основу технологической подготовки производства, главное ее содержание составляет разработка серийного технологического процесса изготовления изделия, проектирование и изготовление специальной технологической оснастки. В общем балансе средств производства специальное технологическое оснащение стоит на первом месте после станочного оборудования самолетостроительных предприятий. Но если станочный парк с изменением конструкции изделия изменяется незначительно, то специальная технологическая оснастка претерпевает при этом самые радикальные изменения — до полной замены ее новой. Трудоемкость проектирования и изготовления специального технологического оснащения составляет обычно 60 ... 80 % трудоемкости технологической подготовки серийного производства самолетов или вертолетов.

Для оснащения серийного производства самолета тяжелого типа необходимо спроектировать до 500 ... 600 сборочных приспособлений, примерно 150 тыс. различных шаблонов, около 25 тыс. станочных приспособлений, более 20 тыс. штампов для холодной штамповки, более 20 тыс. наименований специального инструмента, много литейной, кузнечной, сварочной и другой специальной оснастки.

§ 2. ЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Качество всех работ, выполняемых при технологической подготовке производства, оказывает решающее влияние на технико-экономические показатели последующего серийного производства.

Каждое частное решение, принятое при технологической подготовке производства, затем многократно реализуется в серийном производстве. Следовательно, каждая ошибка, допущенная при подготовке производства, неизбежно приводит к появлению многократно повторяющихся неудовлетворительных результатов в серийном производстве. Так, например, неверно назначенный режим обработки или недостаточно точно изготовленная технологическая оснастка являются распространенными причинами появления брака при выполнении технологических операций. Выбор недостаточно точного метода контроля сопровождается проникновением необнаруженного брака на последующие этапы технологического процесса и в эксплуатацию.

Технологическая подготовка производства должна обеспечить общий техникий прогресс предприятия, высокие технико-экономические показатели работы предприятия при наименьшей себестоимости и длительности самой подготовки производства,

работу предприятия по графику в соответствии с государственным заданием по освоению нового изделия.

Технологическая подготовка серийного производства включает разнообразные по характеру, сложные и трудоемкие работы. Так, например, проектирование новых технологических процессов, как правило, связано с необходимостью предварительного проведения экспериментальных исследований или сложных инженерных расчетов. Количество подлежащих разработке технологических карт исчисляется сотнями тысяч. Еще более сложны и трудоемки работы по созданию новых видов специального оборудования, плазово-шаблонной, контрольно-эталонной и технологической оснастки. В то же время для технологической подготовки производства, несмотря на ее сложность, большую трудоемкость и ответственность, устанавливаются весьма сжатые сроки. Конструкции самолетов и вертолетов очень быстро «морально устаревают». Поэтому даже самое незначительное увеличение времени с момента окончания проектирования самолета или вертолета до выпуска его первого серийного экземпляра крайне нежелательно. Но именно этот интервал времени занимает технологическая подготовка производства.

В рассмотренных условиях для высококачественного и своевременного выполнения огромного комплекса работ по технологической подготовке серийного производства нового изделия необходимы эффективные принципы организации этих работ. Многолетняя практика самолетостроения выработала такие принципы. Главными из них являются: совмещение работ, типизация технологических процессов, преемственность технологического оснащения, последовательность оснащения производства. Далее кратко рассмотрена сущность каждого из этих принципов.

Совмещение работ. Значительный объем работ по проектированию технологических процессов, определению номенклатуры необходимого технологического оборудования, технологической и контрольно-эталонной оснастки, по разработке технических условий и проектированию технологической оснастки и специализированного оборудования осуществляется параллельно с проектированием самого изделия. Одновременно проводятся экспериментальные исследования, связанные с созданием новых процессов обработки, сборки, испытаний и технического контроля, предусматриваемых конструкцией изделия.

При проектировании самолета или вертолета технологический процесс разрабатывается укрупненно. Создаются своеобразные тезисы будущего серийного технологического процесса, называемые директивными технологическими материалами или директивной технологией.

В процессе разработки директивных технологических материалов обычно устанавливаются способы получения заготовок, схемы технологического членения, схемы увязки контрольно-эталонной и технологической оснастки, схемы сборки основных

агрегатов и узлов, типовые технологические процессы изготовления основных элементов конструкции, технические условия и задания на модификацию существующего и проектирование нового оборудования и оснастки, предложения по кооперированию производства и др.

К разработке директивных технологических материалов привлекаются специалисты научно-исследовательских институтов, ОКБ и серийных предприятий. Поэтому эти материалы являются одним из главных средств влияния научно-исследовательских институтов и ОКБ на повышение технического уровня производства серийных предприятий. Директивная технология разрабатывается на базе использования наиболее прогрессивных технологических процессов и оборудования. Все технологические решения принимаются с учетом их технико-экономической эффективности при заданном объеме производства.

По окончании проектирования изделия на основе директивных технологических материалов разрабатывается серийный технологический процесс изготовления изделия и создаются необходимое оборудование, технологическая и контрольно-эталонная оснастка.

Комплексность документов технологического процесса и права их оформления устанавливаются Единой системой технологической документации (ЕСТД), которая учитывает прогрессивные методы, накопленные в промышленности по оформлению, заполнению, комплектизации и обращению технологических документов.

ЕСТД обеспечивает преемственность информации, создает прочную основу для единого информационного языка, обеспечивает широкое применение средств вычислительной техники для инженерно-технических задач по нормированию материалов и трудовых затрат, планово-экономическим расчетам, разработке и заполнению технологических документов. Внедрение ЕСТД способствует повышению качества технологической документации и повышает культуру ее обращения.

Все принципиально новые технологические решения, закладываемые в конструкцию изделия при проектировании, практически апробируются и отрабатываются еще до начала серийного производства, при изготовлении опытных образцов изделия вводятся все основные процессы обработки, сборки и технологического контроля, которые затем войдут в состав серийного технологического процесса, но нуждаются в предварительной проверке и отработке.

Технологическая подготовка производства новых объектов осуществляется, как правило, без прекращения изготовления ранее освоенных производством изделий. По мере увеличения выпуска новых изделий программа выпуска старых изделий соответственно уменьшается.

Типизация технологических процессов. При разработке серийных технологических процессов изготовления изделия широко

используются типовые технологические процессы и типовые технологические и контрольные операции.

Типовые технологические процессы разрабатываются заблаговременно и не для конкретных изделий, а для типовых представителей групп элементов конструкций различных самолетов и вертолетов. Номенклатура типовых представителей и их основные конструктивные параметры устанавливаются путем классификации, анализа и обращения конструкций большого количества различных изделий.

Типовые технологические процессы являются оптимальными процессами изготовления типовых представителей элементов конструкций в определенных условиях производства. Эти процессы разрабатывают научно-исследовательские институты и наиболее квалифицированные коллективы серийных предприятий. Работы по созданию типовых технологических процессов выполняются без смешки, так как они не связываются с подготовкой производства конкретных изделий. Это обеспечивает высокое качество типовых технологических процессов.

При технологической подготовке производства в отдельных случаях удастся использовать типовые технологические процессы (без их доработки или после незначительной корректировки) в качестве рабочих. Чаще же типовой технологический процесс служит образцом для разработки рабочего процесса. Типовые операции, как правило, удастся использовать непосредственно в качестве рабочих операций.

Использование типовых технологических процессов и операций позволяет:

- существенно сократить трудоемкость и сроки проектирования рабочих технологических процессов;

- обеспечить внедрение в производство передового опыта промышленности, единой технологической документации и терминологии;

- повысить серийность рабочих технологических процессов, создавая предпосылки для механизации и автоматизации производства.

Внедрение типового технологического процесса взамен единичного существенно изменяет структуру и величину себестоимости обработки детали (табл. 22.1, 22.2).

Таким образом принцип типизации технологических процессов создает реальные условия для повышения производительности труда, сокращения сроков освоения новых изделий, повышения их качества и снижения себестоимости.

Преимущество технологического оснащения. При проектировании технологической оснастки и специализированного технологического оборудования широко применяются стандартные элементы (рис. 22.2, 22.3), позволяющие уменьшить сроки и стоимость и повысить качество технологической подготовки производства нового изделия.

Изменение себестоимости обработки шпинделя в результате внедрения нового типового технологического процесса

Статьи затрат	Старая стоимость, р.	Новая стоимость, р.
Стоимость материала	15 682	8 430
Основная зарплата	25 937	17 561
Дополнительная зарплата	2 412	1 633
Отчисления на соц. страх	2 183	1 478
Амортизация от оборудования	841	139
Расход электроэнергии	4 319	179
Технологическое оснащение	1 734	326
Итого	53 108	29 740

Изменение трудоемкости изготовления деталей после введения типовой технологии

Наименование детали	Трудоемкость на одну деталь, нормо-ч		Снижение трудоемкости, %
	Старая	Новая	
Винт	0,62	0,38	63
Гайка	0,56	0,35	60
Пробка	0,47	0,3	57
Штифт	0,41	0,26	58
Втулка	0,58	0,35	65
Кольцо	0,62	0,4	55
Валик	0,49	0,3	63

Стандартные элементы технологической оснастки обладают высоким качеством, так как они создаются на основе обобщения передового опыта и тщательно обрабатываются при изготовлении. Эти элементы разрабатываются и изготавливаются заблаговременно, поэтому время на их создание не входит в цикл технологической

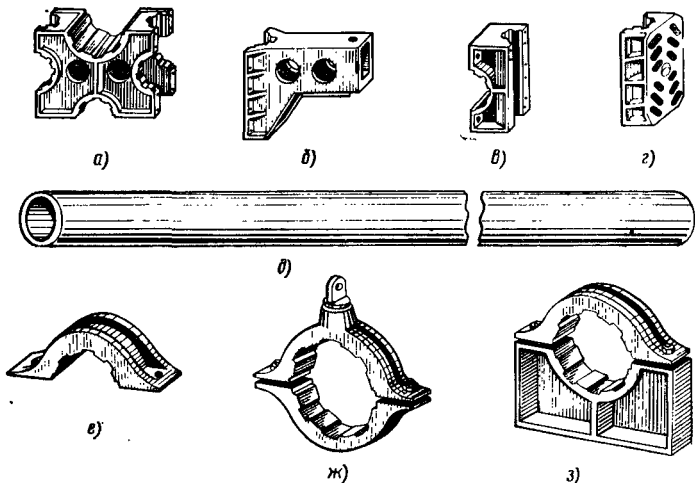
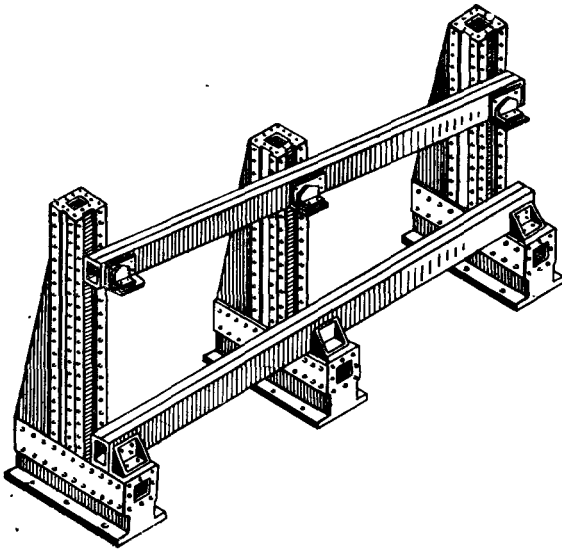


Рис. 22.2. Стандартные элементы трубчатых приспособлений:
a — блок шестиложементный; *b* — блок опорный; *v* — блок двухложементный; *z* — блок поворотный; *d* — труба каркаса; *e* — хомут стяжной; *ж* — хомут для крепления раскоса; *z* — хомут с площадкой для установки фиксаторов

Рис. 22.3. Компоновка каркаса стапеля колонного типа для сборки панели



подготовки производства. Компоновка же конкретных конструкций технологической оснастки или технологического оборудования из таких элементов относительно проста и нетрудоемка. Кроме того, стандартные элементы изготавливаются на специализированных предприятиях в большом количестве и поэтому они относительно дешевы.

Основное достоинство стандартных элементов состоит в том, что их можно многократно использовать в различных конкретных конструкциях технологического оборудования и технологической оснастки (рис. 22.4). Поэтому при применении таких элементов даже в условиях мелкосерийного производства оправдывается высокий уровень его механизации и оснащения технологической оснасткой (рис. 22.5).

Последовательность оснащения производства. Сущность этого принципа состоит в том, что серийное производство оснащается последовательными очередями. Серийное производство изделий начинают тогда, когда уже спроектирована, изготовлена и отла-

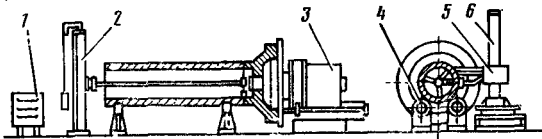


Рис. 22.4. Типовая установка для сборки и электрошлаковой сварки кольцевых швов цилиндрических конструкций:

1 — сварочный трансформатор; 2 — стойка; 3 — вращатель; 4 — приводная роликовая опора; 5 — ползун; 6 — колонка с тележкой

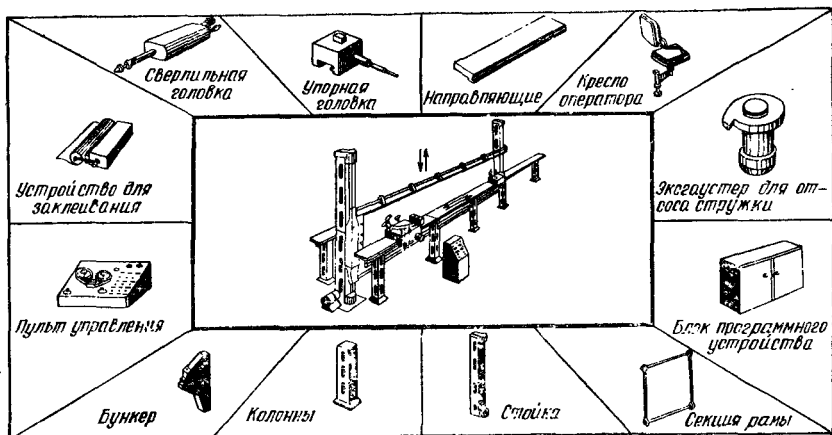


Рис. 22.5. Типовая сверлильная установка СУВ-ПЛ1-00 с программным управлением из нормализованных узлов

жена оснастка «нулевой очереди». К оснастке нулевой очереди относится минимальный комплект технологического оборудования и приспособлений, позволяющий изготавливать изделия необходимого качества. Этот комплект, как правило, недостаточен для обеспечения минимальной себестоимости изделий и высокой общей культуры труда. Параллельно с производством изделий на оснастке нулевой очереди продолжается проектирование, изготовление и внедрение технологической оснастки последующих очередей. Соответственно продолжается улучшение комплекса технико-экономических показателей серийного производства.

Комплекс работ по подготовке производства и освоению нового самолета выполняется по этапам, перечисленным на рис. 22.6.

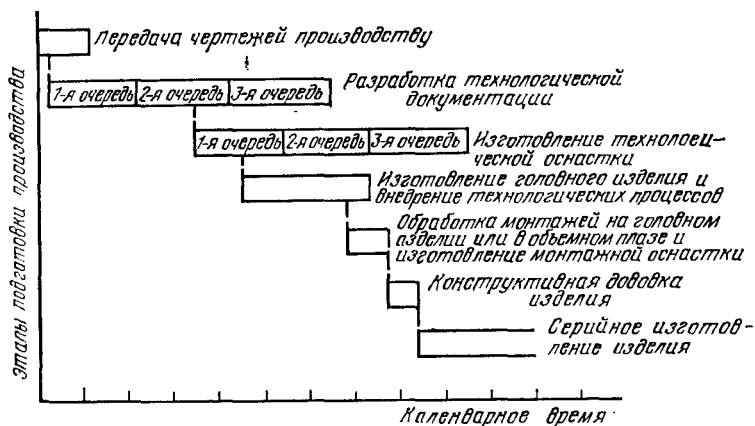


Рис. 22.6. Схема организации и последовательности выполнения работ по подготовке производства

С целью сокращения сроков подготовки производства и вместе с тем для обеспечения высокого качества и надежности первых экземпляров самолетов работы по этапам выполняются по максимально совмещенному по срокам графику при достаточном объеме оснащения.

Технологическую подготовку производства рационально проводить по очереди — в зависимости от сложности агрегата самолета в первую очередь проводится комплекс работ по наиболее сложным и трудоемким агрегатам.

Передаче чертежей от разработчика самолета должна предшествовать предварительная конструктивно-технологическая проработка и приемка чертежей комплексными бригадами завода-изготовителя.

Разработка технологической документации начинается одновременно с конструктивно-технологической проработкой чертежей самолета и осуществляется в три-четыре очереди.

Детали и узлы самолета должны изготавливаться по типовым, групповым и стандартным процессам, только в виде исключения — по индивидуальным технологическим процессам.

Сборочные, монтажные и испытательные работы должны проводиться по типовым технологическим процессам и по производственным инструкциям.

Наряду с технологическими процессами разрабатываются карты технологического состояния поставки деталей, определяющие перечень работ, проводимых со сложными деталями в том или ином цехе.

Проектирование технологической оснастки и изготовление ее производится не одновременно для всего самолета, а поочередно, причем первая очередь включает оснащение наиболее трудоемких агрегатов с большим производственным циклом; вторая очередь включает оснащение агрегатов с меньшим производственным циклом и количеством деталей, необходимых для окончательной сборки на следующем этапе; третья очередь включает оснащение всех остальных деталей.

Проектирование и изготовление оснастки по очередям выполняется в три этапа.

На первом этапе изготавливается только та необходимая оснастка, без которой не может быть выполнен технологический процесс изготовления первых самолетов высокого качества и надежности.

На втором этапе изготавливается оснастка, обеспечивающая план выпуска самолетов.

На третьем этапе изготавливается оснастка, обеспечивающая дальнейшее снижение трудоемкости самолета, а также изготавливаются дублиеры оснастки.

При проектировании оснастки предусматривается максимальное применение стандартной сборно-разборной, универсально-сборочной оснастки со сменными рабочими элементами.

В зависимости от групп сложности деталей и узлов, а также от характера и объема производства разрабатывается типовой порядок проведения работ по подготовке производства по этапам, а также устанавливаются объемы технологического оснащения.

С целью своевременной увязки отдельных работ всего сложного комплекса подготовки производства новых самолетов и облегчения контроля за состоянием подготовки производства разрабатываются графики подготовки производства, охватывающие работы по проектированию самолета, проведению научно-исследовательских работ, разработке технологических процессов, инструкций, чертежей, технологической оснастки, изготовлению технологической оснастки вплоть до изготовления первого самолета.

Большое значение для повышения ритмичности технологической подготовки производства имеет планирование изготовления технологической оснастки. При этом, учитывая скоротечность инструментального производства и его многономенклатурность, основными принципами планирования являются:

группирование однотипных единиц оснастки в пределах одного планируемого периода;

группирование однотипных элементов конструкции по сменно-суточным заданиям в пределах месячного номенклатурного плана;

обеспечение необходимого опережения запуска оснастки в производство для своевременной и качественной технологической подготовки.

Наиболее рациональна система планирования, когда цеху устанавливаются дифференцированно план запуска, план задела, план выпуска.

§ 3. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Эффективным средством сокращения цикла технологической подготовки производства является расширение фронта работ по проектированию серийных технологических процессов и особенно по конструированию и изготовлению специального технологического оснащения. Достигают этого путем привлечения специалистов других серийных предприятий и научно-исследовательских институтов для разработки технологических процессов и конструирования оснастки, а также путем кооперирования изготовления оснастки с другими предприятиями.

Кратко изложенные ранее принципы организации технологической подготовки производства самолетов и вертолетов позволяют осуществлять эту подготовку в относительно сжатые сроки. Однако дальнейшее сокращение сроков подготовки производства продолжает оставаться одной из самых актуальных задач самолетостроительного производства.

Из всех возможных направлений решения этой задачи наиболее эффективным представляется вынесение все большего объема

работ, связанных с подготовкой производства, за ее пределы, т. е. сама система технологической подготовки производства должна быть инвариантной к вновь осваиваемым изделиям. Этого можно достичь путем широкого применения при подготовке производства конкретных изделий предварительно разработанных типовых технологических решений и стандартных элементов.

Методической и организационной основой совершенствования технологической подготовки производства на основе стандартизации являются государственные стандарты Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). ЕСТПП рассматривается как система организации и управления процессом технологической подготовки производства, основанная на широком применении типовых технологических процессов, стандартной оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов и инженерно-технических работ. Государственные стандарты ЕСТПП устанавливают для всех уровней управления состав и порядок решения задач обеспечения высокого уровня технологичности конструкций в период их проектирования, разработки технологических процессов на основе типовых решений и средств технологического оснащения преимущественно на основе унифицированных и стандартных элементов.

Они предусматривают повышение уровня применения типовых технологических процессов до 60 %, стандартной переналаживаемой оснастки до 80 %, агрегатного оборудования до 15 %, средств автоматизации инженерно-технических работ до 75 %.

Высокая степень технологической преемственности производства обеспечивает требуемую мобильность и быструю перестройку действующего производства на выпуск новой более совершенной авиационной техники.

Важным направлением совершенствования технологической подготовки производства является автоматизация ее процессов.

Эффективными направлениями автоматизации технологической подготовки производства являются:

плановые расчеты объемов, трудоемкости и сроков выполнения работ, составление и оптимизация графиков подготовки производства;

оперативный учет хода работ, трудовых и материальных затрат на подготовку производства;

расчет показателей технологической и конструктивной преемственности новых изделий;

расчет показателей трудоемкости изделий;

расчет подетальных и сводных норм расхода материалов, учет материальных нормативов;

раскрой материалов;

проектирование технологических процессов и оснастки, расчет управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением;

оперативное управление производством технологической оснастки и другие.

Автоматизация технологической подготовки производства осуществляется путем создания автоматизированных информационно-поисковых систем, механизации и автоматизации оформления документов, автоматизации логических и расчетных задач, а также путем создания автоматизированных информационно-справочных систем для решения задач регулирования процесса подготовки производства.

Причем для получения максимального эффекта от автоматизации процессов подготовки производства важно вначале выполнить работы по стандартизации ее элементов. Практика показывает, что автоматизация без предварительной подготовки объекта, выявления типичности и повторяемости тех или иных задач приводит к тому, что в условиях современного динамичного производства от автоматизации, зачастую, не получают того эффекта, которого от нее ожидали.

Поэтому, чтобы алгоритмы автоматизации технологической подготовки производства носили универсальный характер, они должны быть построены на основе широкого применения принципов стандартизации, типизации используемой при решении задач информации и стандартизации методов ее обработки.

В зависимости от типичности информации о технологических процессах, сложности алгоритмов проектирования и расчетов может быть использован разный подход к методам и уровню автоматизации. Для простых деталей, характеризующихся высокой степенью технологического подобия, типовые технологические процессы используются как рабочие, и автоматизация проектирования технологии изготовления таких деталей заключается в механизированном разложении технологических карт — заготовок.

Для проектирования технологических процессов изготовления сложных деталей, когда перерабатывается большой объем информации, выполняются сложные расчеты (например, для сложных листо-штамповочных деталей), используются электронно-вычислительные машины.

Применение автоматизированных методов проектирования технологических процессов позволяет практически решить проблему их оптимизации. При этом необходимым условием является специализация рабочих мест, групп оборудования по технологическому потоку, участков на технологически однородных деталях-операциях, что позволяет фактически использовать получаемые с ЭВМ оптимальные решения по режимам обработки, оснащению и т. д. Оптимизация технологического процесса при проектировании его на ЭВМ достигается путем научно обоснованного:

группирования деталей и установления оптимальной очередности их запуска в производство;

определения режимов обработки;

расчета норм трудоемкости и расхода материалов;

учета всех экономических факторов по различным вариантам обработки.

Промежуточным вариантом автоматизации проектирования технологии между двумя названными является распечатка рабочих технологических процессов на печатно-кодирующих электронных устройствах типа УПДЛ — «Брест-1Т». В этом случае для получения рабочего технологического процесса технолог составляет только карту-программу, в которую вносит переменную информацию (постоянная в виде типового технологического процесса занесена на перфоленту). Остальная работа выполняется оператором.

Методической основой типизации технико-экономической информации, используемой при проектировании технологических процессов, создания единого информационного языка и кодирования при использовании средств вычислительной техники, является классификация всех видов информации.

Так технологический классификатор деталей позволяет группировать детали по их технологическому подобию с целью разработки типовых технологических процессов. При разработке рабочих технологических процессов классификационные технологические обозначения детали дают адрес к типовому технологическому процессу, в котором имеется соответствующая информация об изготовлении детали. Кроме того, пользуясь отдельными технологическими признаками, можно механизированным путем получать ведомости деталей по характеру этих признаков (по видам заготовок, обработки по габаритным размерам деталей по укрупненным группам материалов и т. п.).

При применении средств вычислительной техники в технологической подготовке производства важно установить единую терминологию и условные обозначения.

В процессе автоматизированной обработки информации даже одна ошибка в обозначении или толковании термина может повлечь за собой появление ошибок в машинной программе и, как следствие, привести к неправильному результату.

Очень важна автоматизация процессов управления инструментальной подготовки производства с ее многотысячной номенклатурой инструмента и оснастки. На рис. 22.7 приведена функциональная модель автоматизированной системы управления инструментальным производством, состоящей из девяти блоков задач:

- определение потребности предприятия в инструменте;
- расчет норм расхода и запаса инструмента;
- учет движения инструмента;
- определение потребности предприятия в материалах;
- расчет лимита материалов;
- учет движения материалов;
- оперативное планирование работы инструментальных цехов;
- оперативный учет инструментального производства;
- расчет обеспеченности планов инструментальных цехов.

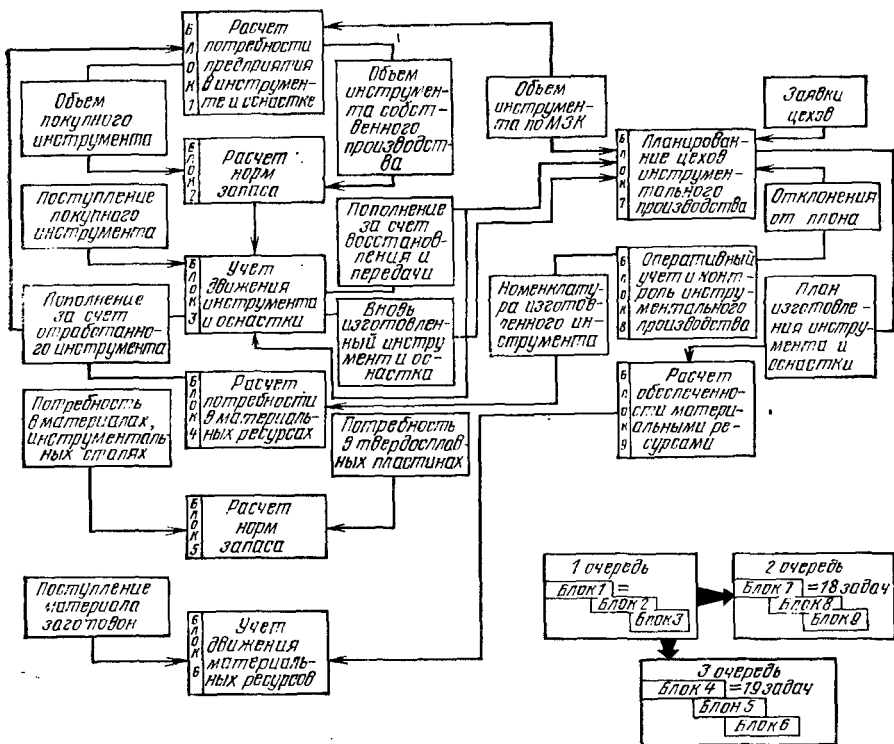


Рис. 22.7. Функциональная модель автоматизированной системы управления инструментальным производством

В каждом блоке с помощью ЭВМ решаются специфичные для него задачи, формируются выходные или промежуточные результаты решения задач.

Внедрение АСУ инструментального производства позволяет: улучшить организацию обеспечения производства необходимым инструментом и оснасткой;

повысить эффективность инструментального производства;

улучшить организацию труда инженерно-технических работников инструментального производства вследствие механизаций и автоматизации большинства расчетов;

ускорить оборачиваемость оборотных средств путем оптимизации уровня запасов инструмента и материальных ресурсов инструментального производства;

сократить сроки подготовки производства, потери рабочего времени в цехах из-за несвоевременного обеспечения инструментами и оснасткой.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Технологичность конструкций — совокупность свойств конструкции изделия, проявляемых в возможности оптимизации затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонта конструкций изделий того же назначения при обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта (ГОСТ 18831—73).

Технологичность — свойство конструкции, заложенное в ней при проектировании и позволяющее получить изделие с заданным уровнем качественных характеристик и высокими технико-экономическими показателями в производстве и эксплуатации.

По области проявления свойств различают *производственную и эксплуатационную технологичность*. Производственная технологичность конструкции изделия проявляется в экономии затрат средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, а также на изготовление изделий. Эксплуатационная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат средств и времени на техническое обслуживание и ремонт изделия, а также на подготовительные и заключительные работы, связанные с полетом (загрузка и выгрузка самолета пассажирами, грузом, топливом и др.).

Одной из важных характеристик ремонтпригодности является дефектоскопичность конструкции, определяемая приспособленностью ее к выявлению дефектов, возникающих в процессе эксплуатации.

Основное внимание в данной главе уделяется производственной технологичности и влиянию ее на уровень затрат по изготовлению изделий.

Отработку на технологичность ведут разработчики конструкторской и технологической документации с участием серийных заводов и специализированных технологических институтов.

Разрабатывая конструкцию изделия, конструктор приспособляет ее к изготовлению наиболее экономичными процессами. Поскольку для различных типов производств рациональны различные технологические процессы, конструкция, являющаяся технологичной, например, для условий крупносерийного производства, может оказаться совершенно не технологичной в условиях мелкосерийного производства. Поэтому при отработке технологичности необходимо учитывать тип производства и объем выпуска, а также производственные условия конкретного предприятия, на котором намечается выпуск изделия. В то же время к конструкции летательных аппаратов может быть предъявлен

ряд общих требований, выполнение которых улучшает технологичность при любых объемах выпуска и условиях производства.

§ 1. ОБЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИЯМ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Простота форм поверхностной агрегатов.

Поверхности двойной кривизны желательно заменять поверхностями одинарной кривизны (для крыльев), круглыми цилиндрическими поверхностями (большая по длине часть фюзеляжа пассажирского самолета) и круглыми коническими поверхностями (хвостовая часть фюзеляжа) (рис. 23.1). Это обеспечивает простоту расчерчивания плазов, увеличивает количество однотипных деталей (шпангоутов, листов обшивки) и снижает трудоемкость изготовления деталей и технологической оснастки. Если эта рекомендация не может быть выполнена по соображениям аэродинамики или компоновки, поверхности двойной кривизны необходимо задавать математически. Наиболее близко отвечают особенностям форм самолетов и методам их производства сплайн-функции.

Рациональное членение конструкции самолетов и вертолетов (см. § 2 данной главы).

Возможно более широкое применение в конструкции стандартных узлов и деталей. Параметры стандартных деталей и узлов тщательно отработаны, а изготовление обычно организовано на специализированных предприятиях наиболее прогрессивными процессами. Это определяет высокое качество и низкую себестоимость стандартных узлов и деталей, вследствие чего их широко применяют в конструкциях летательных аппаратов.

Унификация элементов конструкций. Унификация — рациональное сокращение номенклатуры деталей одинакового функционального назначения — приводит к увеличению объема выпуска таких деталей при неизменном объеме выпуска изделия. Унификация является базой для стандартизации составных частей конструкции изделия.

Возможно большая конструктивная преемственность. Использование в одном изделии деталей и сборочных единиц, применяемых или применявшихся в других изделиях, позволяет сократить затраты труда на разработку и освоение технологических процессов, а также на изготовление и доводку оснастки.

Максимальное использование в конструкции материалов с хорошими технологическими свойствами (свариваемость, обрабатываемость резанием, штампуемость и др.) Использование таких материалов позволяет

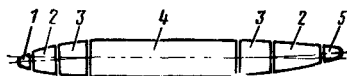


Рис. 23.1. Членение фюзеляжа на секции с однородным характером поверхностей:

1, 5 — поверхность вращения; 2 — коническая поверхность; 3 — поверхность двойной кривизны; 4 — цилиндрическая поверхность

интенсифицировать процессы обработки и сборки, а стало быть снизить трудоемкость изготовления летательных аппаратов.

Ограничение количества применяемых марок материалов и их унификация. Следствием этого является уменьшение объема работ по определению рациональных режимов и освоению процессов обработки и сборки, а также по проектированию технологических процессов.

Отсутствие чрезмерно высоких требований к точности размеров и чистоте обработки поверхностей элементов конструкции. Снижение на один класс точности и допустимой шероховатости может примерно вдвое уменьшить затраты на механическую обработку.

Применение компенсаторов для снижения требования точности увязки сопрягаемых элементов конструкции и обеспечения возможности осуществления сборки без подгонки деталей по месту.

Наличие достаточных подходов к местам соединений, обеспечивающих удобство их выполнения.

Ориентация конструкций на определенный метод сборки. При проектировании сборочных единиц конструктор должен приспособлять их к выбранному методу сборки. Так, чтобы можно было применить сборку по координатно-фиксирующим отверстиям (КФО), агрегаты планера и их отсеки, имеющие замкнутую конструкцию, нужно расчленить на «открытые» панели и узлы, причем шпангоуты должны иметь стыки, совпадающие со стыками панелей, а между отдельными сегментами шпангоутов должны быть предусмотрены компенсирующие зазоры. В местах расположения КФО в монолитных узлах следует предусматривать усиления.

§ 2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ЧЛЕНЕНИЕ САМОЛЕТА НА АГРЕГАТЫ, ПАНЕЛИ И УЗЛЫ

Конструктивно-технологическое членение, т. е. разбивка конструкций на агрегаты, панели и узлы, выполняется на стадии эскизного проектирования, когда определены только обводы и еще не разработана конструкция самолета.

Рациональное членение конструкции позволяет получить ряд существенных преимуществ при проектировании и эксплуатации самолетов.

1. Возможность вести разработку конструкции широким фронтом в специализированных бригадах конструкторского бюро, что способствует повышению качества и сокращению сроков проектирования.

2. Обеспечение возможности транспортировки крупногабаритных самолетов, расчлененных на агрегаты, железнодорожным транспортом.

3. Упрощение ремонта за счет вышедших из строя сборочных единиц такими же единицами из запасного комплекта.

4. Повышение надежности и ресурса в результате использования высокоресурсных способов клепки, не применяемых в слу-

чае сборки «закрытой» конструкции, а также путем осуществления более качественного контроля соединений.

Большое значение имеет членение конструкций для производства. «Раскрытие» конструкции путем расчленения отсеков на панели улучшает доступ к местам соединений и монтажа, обеспечивая возможность механизации и автоматизации изготовления сборочных единиц и монтажных единиц, а также возможность выполнения ручных работ в удобной позе и при хорошей освещенности.

Действие этих факторов определяет следующие преимущества, которые дает членение конструкции производству:

существенное повышение производительности и улучшение условий труда вследствие механизации и автоматизации процесса выполнения соединений, а также в результате проведения ручных работ в удобной позе;

сокращение производственного цикла за счет повышения производительности труда и использования параллельных схем сборки;

снижение себестоимости продукции за счет повышения производительности труда и снижения расходов на оснащение производства.

Наряду с преимуществами чрезмерное членение конструкции имеет свои недостатки:

увеличение массы;

снижение надежности и ресурса из-за увеличения числа соединений;

ухудшение технико-экономических показателей.

Членение самолета на агрегаты и отсеки

Число и места расположения разъемов между отсеками и между агрегатами назначают главным образом из конструктивных и эксплуатационных соображений. Связь смежных агрегатов и отсеков в цельную конструкцию осуществляют разъемными соединениями (на болтах, винтах или с помощью специальных замков).

Можно отметить следующие причины расчленения агрегатов на отсеки:

резкая разница в конструкции отсеков агрегатов и связанные с этим особенности технологии их изготовления. Так, в отдельный отсек выделяется герметизированная кабина З, поскольку при ее изготовлении применяют специальную клепку и контроль герметичности (рис. 23.2). Точно так же в отдельные отсеки выделяют части крыла, используемые в качестве топливных емкостей;

применение для отдельных частей агрегатов материалов, специфических в конструктивном и технологическом отношении. Например, самостоятельным отсеком является носовая часть фю-

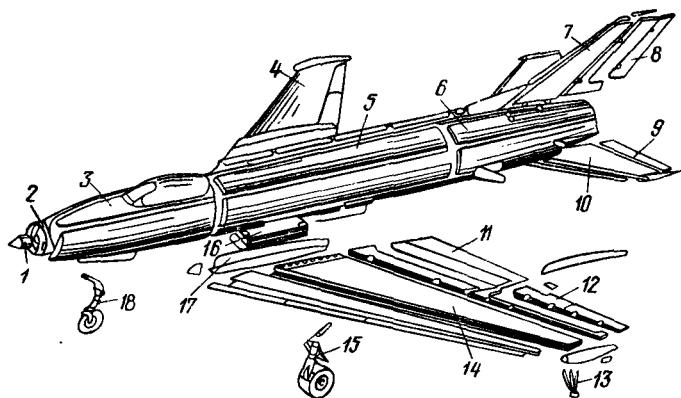


Рис. 23.2. Схема членения самолета:

1 — конус; 2 — обтекатель; 3 — носовой отсек фюзеляжа — кабина летчика, расчлененная на части; 4 — отъемная часть крыла (ОЧК); 5 — средний отсек фюзеляжа, расчлененный на панели; 6 — хвостовой отсек фюзеляжа, расчлененный на панели; 7 — киль, расчлененный на панели и узлы; 8 — руль направления; 9 — руль высоты; 10 — стабилизатор, расчлененный на панели и узлы; 11 — закрылок; 12 — элерон; 13 — подконсольное шасси; 14 — кессонная часть ОЧК; 15 — основная опора; 16 — центроплан; 17 — зализ центроплана; 18 — передняя опора

зеляжа скоростного самолета, если она изготовлена из теплостойкого радиопрозрачного материала;

необходимость обеспечения хорошего доступа к двигателю, располагаемому внутри фюзеляжа (разъем между отсеками 5 и 6 на рис. 23.2);

необходимость обеспечения возможности транспортировки, если габаритные размеры агрегата превышают лимитированные значения.

Число отсеков следует устанавливать минимально необходимым, так как разъемные соединения, располагаемые перпендикулярно потоку основных силовых нагрузок, существенно утяжеляют конструкцию. Так, погонная масса одного метра фланцевого стыка колеблется от 8 до 12 кг для самолетов средних размеров.

Членение отсеков на панели

Такое членение производится из технологических соображений. Цель его — раскрыть конструкцию для получения перечисленных преимуществ. Поскольку соединения между панелями, входящими в один отсек, неразъемны, привес сравнительно невелик. Это позволяет на стадии эскизного проектирования в известных пределах варьировать числом разъемов и панелей для улучшения экономических показателей производства.

Основы теории панелирования самолетных конструкций разработаны Е. П. Шекуновым. В 1948 году он предложил методику

определения оптимального числа панелей, основанную на сравнении относительных технико-экономических показателей, получаемых при различных вариантах членения агрегатов и отсеков на панели и различных схемах сборочного процесса*.

Анализ характера изменения технико-экономических коэффициентов с увеличением числа панелей, а также учет недостатков от чрезмерного членения конструкции позволяют сделать следующие выводы:

1. Экономические показатели панелированной конструкции существенно выше, чем непанелированной. Поэтому конструкции отсеков нужно членить на панели, тем более, что размеры заготовок (листов, отливок, монолитных панелей) ограничены и технологические стыки появляются автоматически.

2. Чтобы избежать существенного увеличения массы, а также снижения надежности и ресурса конструкции, число разъемов должно быть минимальным, а панели должны быть возможно большими по размерам.

Тенденция увеличения размеров панелей находит свое отражение в увеличении габаритных размеров листов, выпускаемых промышленностью (для алюминиевых сплавов - до 25000×3500 мм), а также в освоении выпуска крупногабаритных плит в качестве заготовок для монолитных панелей. Соответственно осваивается выпуск крупногабаритного оборудования (штамповочных прессов, ванн для антикоррозионной обработки, станков с программным управлением, клепальных прессов, сварочных установок), позволяющих выполнять обработку крупногабаритных панелей.

Схема членения должна быть увязана с силовой схемой конструкции. На рис. 23.2 носовой, средней и хвостовой отсеки фюзеляжа расчленены на четыре панели в соответствии с числом мощных продольных силовых элементов, на которых удобно располагать стыки панелей.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ И СИСТЕМ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чтобы обеспечить высокую технологичность детали нужно ориентировать ее конструкцию на наиболее рациональный для данного типа производства процесс изготовления и придать ей такие геометрические параметры, выполнение которых не встретит затруднений в производстве. В частности, желательно, чтобы у листовых деталей, изготавливаемых штамповкой резиной, величины отбортовок, рифтов, подсечек позволяли формовать их за один переход. Сложные детали, изготавливаемые глубокой вытяжкой, часто можно формировать за один переход, если сделать их конструкцию свариваемой из двух половин. При проектиро-

* Шекунов Е. П. Основы технологического членения конструкций самолетов. М.: Машиностроение, 1968. 166 с.

вании листовых деталей нужно учитывать габаритные размеры листов, выпускаемых промышленностью. Большие детали изготавливают из сваренных листов, причем сварной шов располагают в области минимальных нагрузок.

При проектировании деталей из профилей желательнее использовать стандартные сортаменты. Необходимо также учитывать рекомендуемые наименьшие радиусы изгиба.

В деталях из труб радиусы изгиба тоже должны быть больше минимальных рекомендуемых величин. Кроме того радиусы изгиба унифицируют, что сокращает номенклатуру оснастки.

При проектировании деталей из горячештампованных заготовок выдерживают установленные величины штамповочных уклонов на необрабатываемых поверхностях, рекомендуемые значения радиусов переходов и закруглений, минимальной толщины полотна, соотношения между высотой и толщиной ребер и т. п.

При выборе варианта конструкции панели определяют степень ее монолитности.

К преимуществам монолитных панелей относятся:

а) меньшая масса из-за возможности придать им конфигурацию, соответствующую распределению нагрузок, уменьшения числа соединений и использования высокопрочных материалов;

б) большая надежность и ресурс;

в) лучшая дефектоскопичность;

г) более высокий коэффициент использования материала;

д) меньшая трудоемкость при достаточно больших величинах годовой программы;

е) меньший объем традиционных работ по подготовке производства из-за уменьшения числа шаблонов, сборочных приспособлений, оснастки и объема технологической документации;

ж) большая простота планирования производства из-за уменьшения числа деталей.

Недостатками, связанными с использованием монолитных панелей, являются:

а) необходимость использования сложного и дорогостоящего оборудования - уникальных прессов большой мощности, крупных специализированных копировально-фрезерных станков с программным управлением;

б) сложность и большая трудоемкость разработки программ для станков с ПУ;

в) необходимость существенного изменения организационной структуры предприятия;

г) трудность изготовления панелей с малым сечением силовых элементов, с малой толщиной стенки.

Несмотря на отмеченные недостатки в настоящее время четко определилась тенденция расширения применения монолитных панелей в конструкциях самолетов. В частности, широкое применение нашли монолитные панели в самолете Ил-86. Размеры их доходят до 7000×1800 мм.

Технологичность систем бортового оборудования

С целью повышения технологичности при проектировании систем следует возможно более широко использовать стандартные, а также разработанные ранее и хорошо себя зарекомендовавшие элементы систем.

Необходимо обеспечить достаточно удобный доступ к соединениям, агрегатам и приборам, предусматривать в случае необходимости в конструкции планера люки.

Агрегаты, арматура и коммуникации бортовых систем рекомендуется объединять в крупные монтажные узлы, располагаемые на съемных панелях. Такое блокирование позволяет сократить протяженность коммуникаций, упростить монтаж и контроль, уменьшить массу и повысить надежность систем.

Конструкция системы должна обеспечивать возможность вынесения возможно большего объема монтажных работ из летательного аппарата на верстаки, а также максимальной механизации и автоматизации работ.

Конструкция систем должна предусматривать возможность осуществления автоматического контроля отдельных участков на каждом собранном агрегате планера (см. гл. 20).

§ 4. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Оценка технологичности может быть качественной и количественной. Качественная оценка (лучше—хуже) допустима на всех стадиях проектирования, когда при выборе лучшего конструктивного решения не требуется определения степени различия сравниваемых вариантов.

Количественно наиболее полно производственная технологичность характеризуется общеизвестными показателями: трудоемкостью изготовления $T_{и}$ или себестоимостью изделия $C_{п}$. Для сравнительной оценки используют показатели уровня технологичности конструкции по трудоемкости $k_{у.т}$ и по себестоимости $k_{у.с}$

$$k_{у.т} = \frac{T_{и}}{T_{б.н}}, \quad (23.1)$$

где $T_{б.н}$ — базовый показатель трудоемкости (в нормочасах), который является как бы нормативом для данного изделия.

Уровень технологичности конструкции по себестоимости определяют по формуле, аналогичной (23.1):

$$k_{у.с} = \frac{C_{п}}{C_{б.п}}, \quad (23.2)$$

где $C_{п}$ — себестоимость проектируемого изделия; $C_{б.п}$ — базовый показатель себестоимости.

Конструкция технологичная, если $k_{у.т}$ и $k_{у.с}$ меньше единицы. $T_{п}$, $C_{п}$, $k_{у.т}$, $k_{у.с}$ являются основными показателями

технологичности конструкции изделия. К сожалению, точное определение их на ранней стадии проектирования изделия затруднительно или даже невозможно. Поэтому наряду с основными используют дополнительные показатели технологичности, которые отражают степень выполнения в новой конструкции отдельных требований технологичности, приведенных в § 1.

Приведем некоторые дополнительные показатели технологичности.

Коэффициент стандартизации изделия $k_{ст}$:

$$k_{ст} = \frac{E_{ст} + D_{ст}}{E + D}, \quad (23.3)$$

где $E_{ст}$ и $D_{ст}$ — соответственно число стандартных сборочных единиц и деталей в изделии.

Коэффициент использования материала $k_{и.м}$:

$$k_{и.м} = \frac{G_{и}}{G_{м}}, \quad (23.4)$$

где $G_{и}$ — масса сухого изделия, кг; $G_{м}$ — суммарная масса материалов, затрачиваемых на изготовление одного изделия, кг.

Уровень механизации клепки $k_{п.к}$:

$$k_{п.к} = \frac{N_{з.п}}{N_{з.об}}, \quad (23.5)$$

где $N_{з.п}$ — количество заклепок, доступных для прессовой клепки; $N_{з.об}$ — общее количество заклепок в изделии.

Уровень механизации сварки $k_{м.с}$

$$k_{м.с} = \frac{L_{м}}{L_{м} + L_{р}}, \quad (23.6)$$

где $L_{м}$ и $L_{р}$ — соответственно суммарные длины швов, выполняемых механизированной и ручной сваркой.

При анализе технологичности различных вариантов конструкции могут быть использованы два метода.

В качестве критерия оптимизации используют один наиболее важный для данных условий показатель технологичности. Для остальных показателей устанавливают ограничения. Предпочтение отдают варианту с наилучшим значением основного критерия при условии, что остальные показатели не выходят за установленные пределы.

Для оценки технологичности используют комплексный показатель k , учитывающий ряд дополнительных показателей k_1, k_2, \dots . В комплексном критерии получает отражение различная значимость отдельных дополнительных показателей

$$k = k_1 k_{1з} + k_2 k_{2з} + \dots + k_n k_{nz}, \quad (23.7)$$

где $k_{1з}, k_{2з}, \dots, k_{nz}$ — коэффициенты удельного влияния (значимости) дополнительных показателей. Сумма их равна единице.

Величины коэффициентов удельного влияния определяют либо экспертно, либо на основе статистики, учитывая влияние изменения каждого из показателей на один из основных показателей, например, на себестоимость изделия.

При разработке конструкции летательного аппарата стремятся обеспечить не только производственную, но и эксплуатационную технологичность, поскольку затраты в эксплуатации на поддержание самолетов в летном состоянии составляют 250 ... 350 % от затрат на их производство. По мере усложнения конструкций летательных аппаратов и увеличения их ресурса эти затраты имеют тенденцию к повышению.

Приведем некоторые показатели эксплуатационной технологичности.

Относительная трудоемкость профилактического обслуживания $T_{о. об}$:

$$T_{с. об} = \frac{T_{об}}{T_{и}}, \quad (23.8)$$

где $T_{об}$ — трудоемкость профилактического обслуживания в заданный период эксплуатации.

Относительная трудоемкость ремонтов изделия $T_{о. р}$:

$$T_{о. р} = \frac{T_{р}}{T_{и}}, \quad (23.9)$$

где $T_{р}$ — трудоемкость плановых ремонтов изделия в заданный период эксплуатации.

§ 5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Работы по проектированию технологичности проводятся на всех стадиях проектирования летательных аппаратов.

Наибольшее значение в обеспечении высокой технологичности имеют работы на первых стадиях проектирования (технологическое предложение, эскизный проект), когда определяются принципиальная и конструктивная схемы изделия, оказывающие существенное влияние на технологические характеристики изделия.

На стадии разработки *технического задания* изучают технические характеристики проектируемого изделия и сопоставляют их с характеристиками существующих аналогичных конструкций, собирают данные о технологичности аналогичных конструкций, анализируют новейшие достижения в области конструирования и технологии, которые можно использовать в проектируемом изделии, определяют состав базовых показателей и рассчитывают их величины.

В результате разработки следующей стадии проектирования— *технического предложения* получают несколько вариантов принципиальных схем проектируемого изделия. При этом проводят сравнительный анализ технологичности вариантов схем с точки

зрения возможности осуществления рационального членения, предпосылок для использования стандартных и унифицированных частей изделия, типовых технологических процессов или, наоборот, новых малоизученных процессов, возможности ограничения номенклатуры материалов.

В эскизном проекте проводятся принципиальные конструкторские решения в общее представление об устройстве изделия.

На данной стадии проектирования разрабатывают директивные технологические материалы, в которых, в частности, приведены подробно разработанная схема членения, обоснование выбора материалов, директивный технологический процесс и укрупненная схема сборки. Требования к конструкции изделия, определяемые удобством выполнения сборки, монтажа и испытаний, содержащиеся в директивных технологических материалах, учитываются при разработке конструкции изделия.

Отработка конструкции на технологичность выражается в технологическом контроле конструкторской документации. При этом добиваются простоты форм внешних поверхностей, а также соответствия габаритных размеров агрегатов и отсеков требованиям транспортировки, возможности размещения в производственных помещениях и размерам выпускаемых промышленностью полуфабрикатов; определяют составные части изделия, которые могут быть стандартизованы, унифицированы и заимствованы из освоенных в производстве, выявляют номенклатуру используемых конструкционных материалов и возможности ее сокращения. Путем расчета размерных цепей определяют используемые методы сборки.

На стадии эскизного проектирования определяются предприятие-изготовитель, и при отработке конструкции изделия на технологичность учитываются производственные условия предприятия и целесообразность их изменения для повышения качества изделия и производительности труда.

Выполняют оценку технологичности конструкции по основным и вспомогательным показателям.

Технический проект содержит окончательные конструкторские решения, дающие полное представление о конструкции изделия. Тщательному технологическому контролю и корректировке подвергают чертежи общего вида, подробно разработанной компоновки, а также сборочные чертежи агрегатов и узлов.

На стадии технического проекта выполняется количественная оценка технологичности по большему, чем при эскизном проектировании, количеству основных и вспомогательных показателей.

На стадии разработки *рабочей конструкторской документации* осуществляют контроль и корректировку чертежей узлов и деталей в соответствии с требованиями технологичности, изложенными в § 1 и 3 данной главы. Анализируют процесс изготовления опытного образца изделия и вносят необходимые изменения в конструкцию.

§ 6. ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Государственная эффективность \mathcal{E} определяется отношением объема общественно-полезной работы W самолета или вертолета, выполняемой им за весь период эксплуатации, ко всем видам затрат S , произведенных для его создания,

$$\mathcal{E} = W/S. \quad (23.10)$$

Общественно-полезная работа не всегда может быть точно выражена количественно (например, для самолетов-истребителей). В то же время для грузовых самолетов ее можно представить как объем выполненных перевозок (в тонно-километрах) за весь срок их службы.

Затраты S определяются по формуле

$$S = S_0 + S_{II} + S_3, \quad (23.11)$$

где S_0 — затраты на разработку конструкции и создание опытного образца, отнесенные к числу серийно выпущенных машин; S_{II} — средние затраты на производство серийной машины; S_3 — средние затраты при эксплуатации одной машины за срок службы.

Как уже отмечалось, затраты S_{II} характеризуют производственную, а S_3 — эксплуатационную технологичность.

Для вариантов конструкции, равноценных по своим тактико-техническим характеристикам, W остается постоянным, и повышение технологичности означает повышение государственной эффективности. Однако в большинстве случаев для обеспечения выполнения все более высоких тактико-технических требований (для повышения W) приходится применять новые высокопрочные, но труднообрабатываемые материалы и более трудоемкие технологические процессы, обеспечивающие более высокое качество изделий. Все это приводит к росту S_{II} , а стало быть, к снижению производственной технологичности.

По мере усложнения конструкции растут и расходы по эксплуатации изделия. Создавая конструкцию машины, конструктор должен обеспечить заданные более высокие летно-тактические характеристики (и соответственно более высокое W) при возможно меньшем неизбежном увеличении расходов S .

При сравнении вариантов конструкции, различающихся величинами W и S , конструктор отдает предпочтение не варианту с малым значением S (лучшая технологичность), а варианту с максимальной величиной отношения W/S . Это не умаляет значения борьбы за высокую технологичность конструкции, поскольку повышение ее при прочих равных условиях приводит к росту государственной эффективности и снижению расходов на производство и эксплуатацию.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И УВЯЗКА СБОРОЧНОЙ И КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Большинство сборочных единиц конструкции самолета (вертолета) собирается в сборочных приспособлениях.

Сборочное приспособление (рис. 24.1) — устройство, конструкция которого обеспечивает правильное взаимное расположение, фиксацию и соединение сборочных единиц (деталей, узлов, агрегатов, отсеков) самолета с заданной точностью.

В таких приспособлениях положение собираемых элементов конструкции самолета фиксируется относительно главных базовых осей отсека или агрегата, его аэродинамического обвода (внешнего или внутреннего) или плоскости узла стыка (рис. 24.2). После фиксации сборочных элементов в приспособлении они собираются в единое целое. Соединения могут быть разъемные, неразъемные и смешанные.

Непрерывное повышение требований к точности и взаимозаменяемости собираемых элементов конструкции самолета, к росту

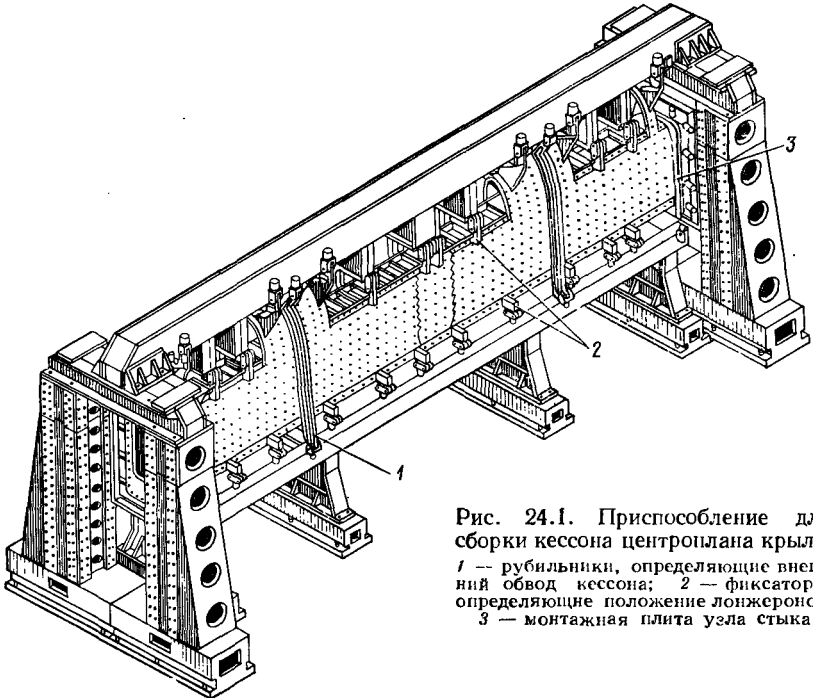


Рис. 24.1. Приспособление для сборки кессона центроплана крыла:
 1 — рубильники, определяющие внешний обвод кессона; 2 — фиксаторы, определяющие положение лонжеронов;
 3 — монтажная плита узла стыка

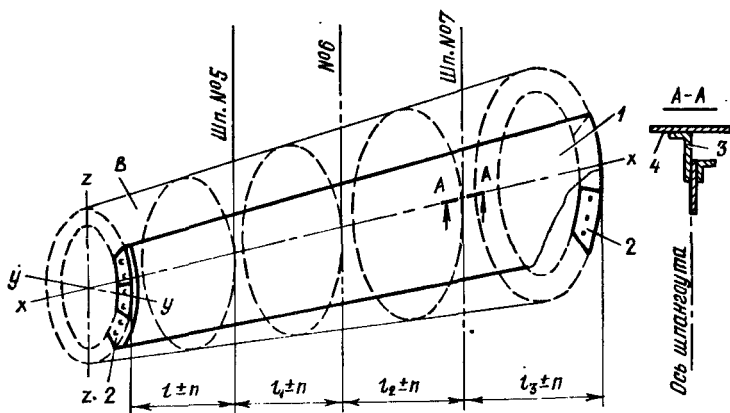


Рис. 24.2. Схема расположения собираемой панели отсека фюзеляжа:
 X , Y , Z — базовые оси отсека; e — расстояние от плоскости стыка до шпангоута; 1 — собираемая панель; 2 — плоскость узла стыка; 3 — шпангоут; 4 — обшивка панели

производительности труда обуславливает не только увеличение количества сборочных приспособлений в производстве, но и более высокие технические требования к ним.

Основными из этих требований являются:

обеспечение заданной техническими условиями точности сборки узла, панели, отсека или агрегата самолета, которая должна быть увязана со степенью точности сборочного приспособления;

сохранение точности сборочного приспособления в течение всего периода эксплуатации между регламентными осмотрами и ремонтами;

сохранение стабильного положения базовых точек, узлов и поверхностей, заданных техническими условиями на сборку узла, панели, отсека или агрегата, и надежность фиксации собираемых элементов в течение всего периода эксплуатации приспособления;

постоянство заданных размеров независимо от колебаний температуры;

использование в конструкции сборочного приспособления возможно большего количества стандартизованных элементов для удешевления приспособлений и сокращения сроков их проектирования и изготовления;

рациональные размеры приспособлений в целях лучшего использования производственных площадей;

обеспечение для выполнения сборочных работ наиболее свободных подходов к рабочим зонам, хорошего освещения, минимального времени на фиксацию и расфиксацию собираемого изделия, удобства использования инструмента и средств механизации труда, а также съема собранных элементов конструкции самолета;

соблюдение правил техники безопасности.

Кроме основных, к сборочным приспособлениям предъявляются частные технологические требования, определяемые особенностями собираемых в них узлов, панелей, агрегатов и отсеков самолета. Такие требования указываются в технических условиях на проектирование отдельных приспособлений.

Потребность серийного производства в большом количестве сборочных приспособлений вызывает необходимость стандартизации их основных элементов и получения приспособлений различных назначений методом агрегатирования. Сложные и больших габаритных размеров сборочные приспособления, применяемые в производстве летательных аппаратов, состоят из большого количества разнообразных деталей и узлов. Анализ относительно применимости различных элементов сборочных приспособлений по трудоемкости их изготовления и металлоемкости показывает, что для изготовления корпусных деталей, т. е. основных несущих и поддерживающих элементов сборочных приспособлений, используется до 70 % металла, идущего на изготовление всей сборочной оснастки.

На основании анализа стандартизируются следующие элементы сборочных приспособлений: колонны, основания, плиты, балки, кронштейны и другие элементы каркасов сборочных приспособлений, стандартизация которых обеспечивает значительное сокращение общих затрат металла на изготовление сборочной оснастки: детали и узлы фиксаторов и зажимов, стандартизация которых значительно сокращает общую трудоемкость изготовления сборочной оснастки.

В результате рассмотрения конструкций сборочных приспособлений и собираемых в них изделий установлены следующие методические положения для стандартизации сборочной оснастки:

наиболее целесообразное членение основных изделий и их агрегатов на отдельные технологические узлы, собираемые в приспособлениях; классификация узлов и агрегатов изделий и типизация технологических процессов их сборки;

разработка стандартных рядов элементов каркасов приспособлений (блоков, колонн, оснований, плит, кронштейнов и др.), а также различного ряда фиксирующих и зажимных элементов приспособлений;

разработка стандартов на все основные элементы сборочной оснастки;

разработка типовых стандартизованных конструкций приспособлений для сборки всех основных узлов и агрегатов изделий в соответствии с разработанной классификацией.

При разработке стандартизованных элементов сборочных приспособлений им придается форма, наиболее удобная для обработки. Вертикальные элементы приспособлений выполняются в виде колонн, собранных из литых чугунных или железобетонных блоков. Продольные элементы каркасов приспособлений длиной

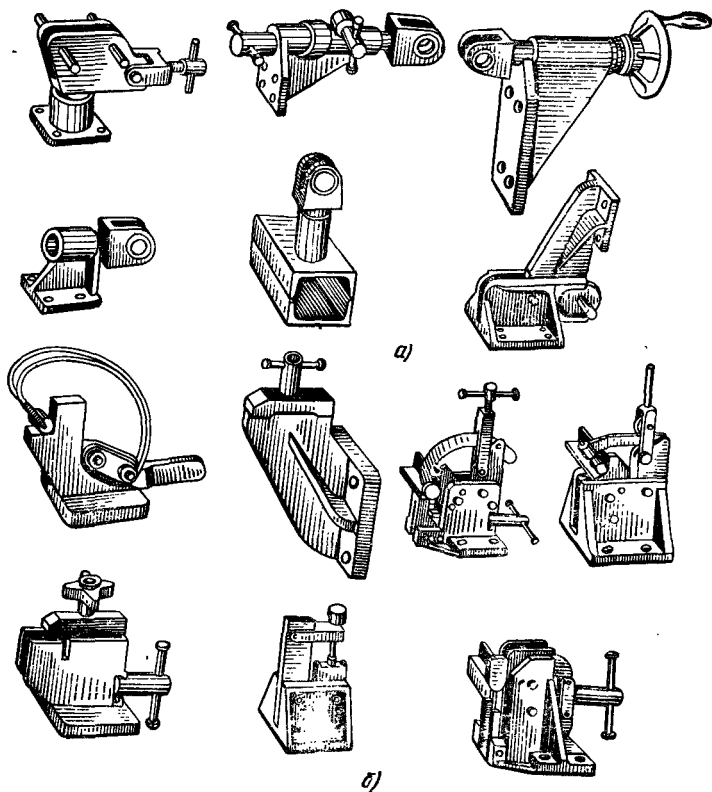


Рис. 24.3. Стандартизованные фиксаторы (а) и прижимы (б) сборочных приспособлений

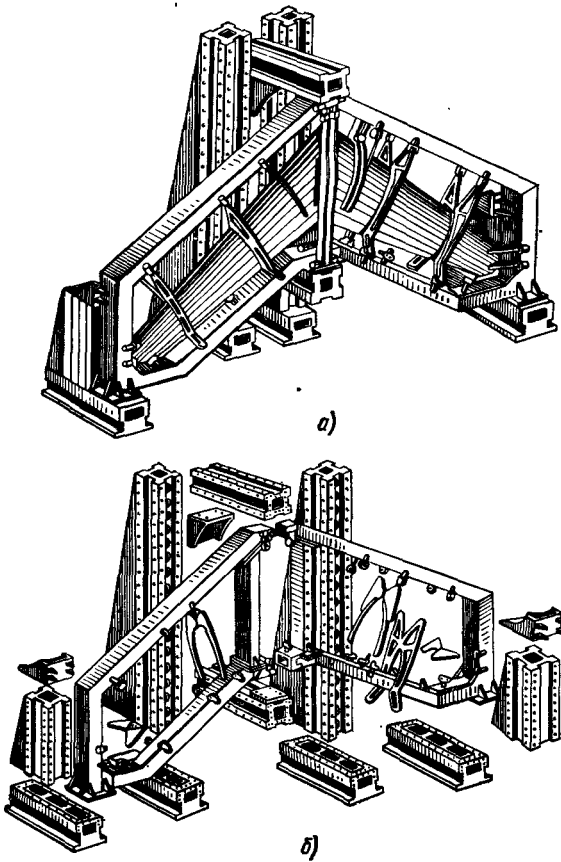
до 2 м изготавливаются из чугуновых литых балок, а большей длины — из балок, сваренных из стального проката.

В сборочной оснастке стандартизируются и основные элементы фиксации: фиксаторы (рис. 24.3, а), прижимы (рис. 24.3, б), установочные вилки и другие детали. На рис. 24.4 показаны сборочные приспособления в комплекте и его стандартизованные элементы.

Для сборки крышек люков, небольших баков, а также ферменных конструкций применяются универсально-сборные приспособления (УСП). В качестве оснований этих приспособлений служат монтажные плиты с пазами. Все элементы приспособлений стандартизованы. Пример УСП для сборки ферменных конструкций показан на рис. 24.5.

Для механизации процессов установки и фиксации деталей и узлов собираемых изделий разрабатываются и стандартизируются также механизированные быстродействующие пневматические и

Рис. 24.4. Приспособление для сборки стабилизатора самолета (а) и его стандартизованные элементы (б)

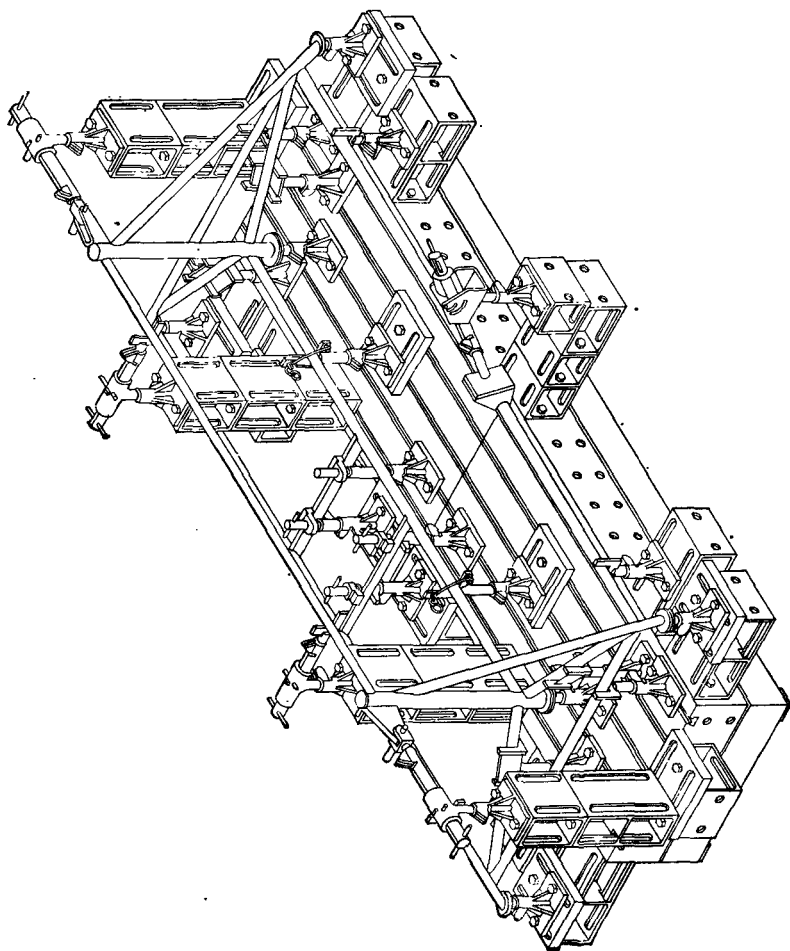


гидравлические прижимы и фиксаторы, применяемые в наиболее крупных приспособлениях-стапелях. На рис. 24.6 приведены типовые компоновки пневматических прижимов сборочно-сварочных приспособлений.

Стандартизация снижает трудоемкость проектирования приспособлений, а также создает условия для централизации и межзаводского кооперирования при их изготовлении. Кроме того, стандартизация открывает возможность заблаговременного изготовления стандартных деталей и узлов приспособлений. Компоновка сборочных приспособлений из стандартизованных узлов позволяет многократно применять одни и те же узлы в различных приспособлениях. При больших экономических преимуществах приспособления из стандартизованных элементов обладают высокой точностью.

Современная система проектирования и изготовления сборочных приспособлений, в основу которой заложены стандартиза-

Рис. 24.5. Универсально-сборное приспособление (УСП) для сборки ферменных конструкций



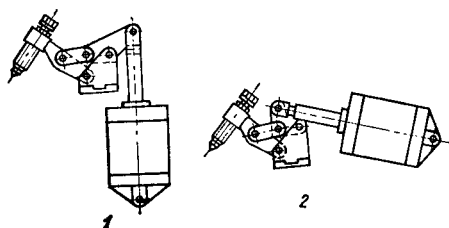


Рис. 24.6. Типовые компоновки пневматических прижимов сборочно-сварочных приспособлений (1, 2 — варианты прижимов)

сборки позволяют резко сократить сроки и затраты на проектирование и изготовление сборочных приспособлений, улучшить их качество, а следовательно, и качество самолетов.

ция их элементов, классификация сборочных единиц (деталей, узлов, агрегатов) самолета, и типизация технологических процессов

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ТИПОВЫХ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Сборочные приспособления принято классифицировать по двум основным признакам — *технологическому и конструктивному*.

К технологическим признакам относят вид сборочной единицы (узел, отсек, агрегат) и характер выполняемых операций (сборка, разделявание отверстий, фрезерование плоскостей стыков, нивелирование, контроль). Конструктивные признаки сборочных приспособлений представлены на рис. 24.7.

С точки зрения универсальности конструкции все сборочные приспособления можно подразделить на *специальные и специализированные*.

Специальным называется сборочное приспособление для сборки одной какой-либо сборочной единицы, например, отсека фюзеляжа. Эти приспособления по конструкции могут быть неразборными и разборными. При смене в производстве типа само-

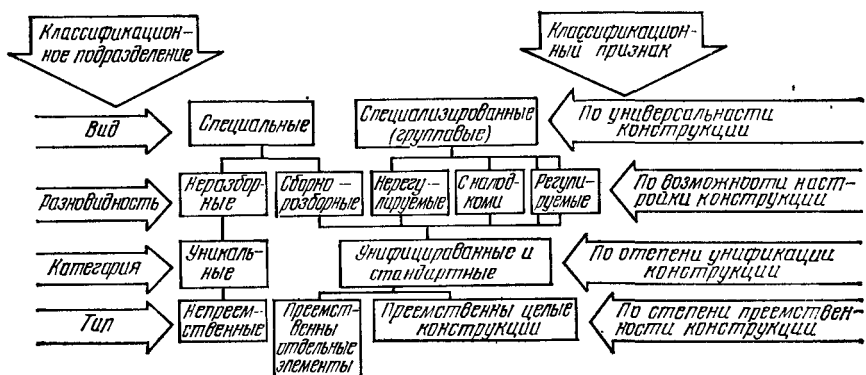


Рис. 24.7. Классификация сборочных приспособлений по конструктивным признакам

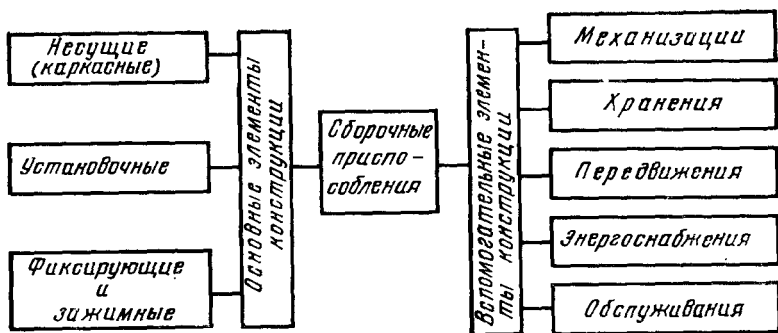


Рис. 24.8. Схема конструктивных элементов сборочного приспособления

Многие элементы разборного приспособления могут использоваться многократно.

Специализированным (групповым) называется сборочное приспособление для сборки каких-либо однотипных по конструктивно-технологическому признаку сборочных единиц, например, шпангоутов фюзеляжа. Эти приспособления обычно бывают полностью стандартизированы. Высокая точность сборки в таких приспособлениях достигается настройкой или наладкой входящих в них базирующих элементов.

В общем виде конструкция сборочного приспособления может быть представлена принципиальной схемой входящих в нее элементов, приведенной на рис. 24.8. Несущие (каркасные), установочные, фиксирующие и зажимные элементы (рис. 24.9) являются основными, а все остальные — вспомогательными.

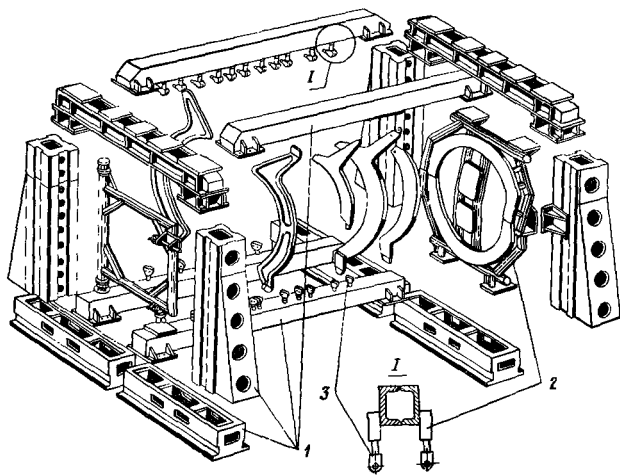
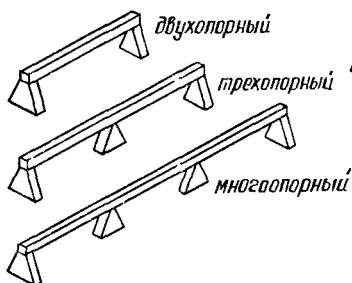


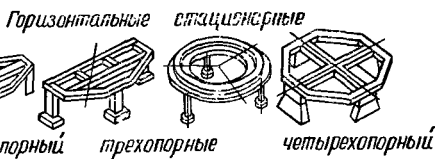
Рис. 24.9. Основные элементы конструкции приспособления для сборки отсека фюзеляжа:

1 — несущие (каркасные) элементы; 2 — установочные элементы; 3 — фиксирующие и зажимные элементы

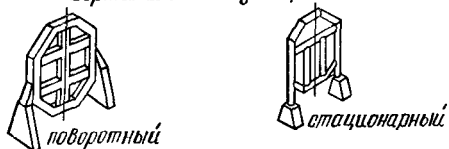
Каркасы для сборки стрингеров и понжерона



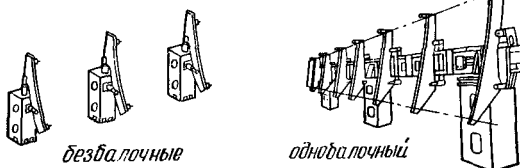
Каркасы для сборки шпансудов



Вертикальные двухопорные



Каркасы для сборки панелей



Объемные каркасы для сборки отсеков и агрегатов

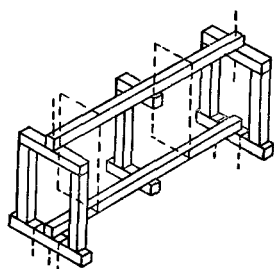
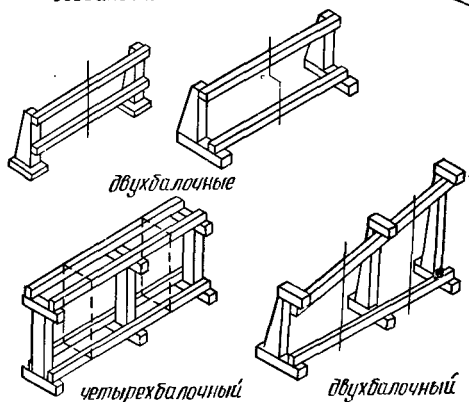
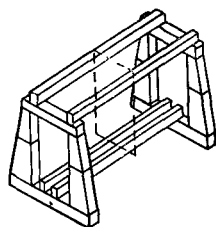


Рис. 24.10. Типовые конструкции каркаса сборочного приспособления

Несущие элементы образуют каркас сборочного приспособления (рис. 24.10), который связывает все элементы приспособления в единое целое. От степени жесткости каркаса зависит точность и постоянство положения в нем всех узлов приспособления. Однако элементы каркасов приспособлений не имеют непосредственного контакта с деталями собираемых узлов или агрегатов, что делает их более независимыми по размерам, геометрическим формам, конструктивному исполнению и точности изготовления от конструктивных и технологических характеристик собираемых в приспособлении узлов, панелей и агрегатов самолета.

Каркас сборочного приспособления состоит из вертикальных элементов (колонны, стойки) и горизонтальных (балки, основания, фундаментные плиты и кронштейны).

Колонны являются основными несущими вертикальными элементами каркаса крупных сборочных приспособлений (рис. 24.11). В зависимости от нагрузки на приспособление и расположения его центра масс (или эксцентриситета) могут применяться различные стандартизированные конструкции колонн: чугунные пирамидальные (см. рис. 24.11, а) и призматические (см. рис. 24.11, б), а также железобетонные призматические (см. рис. 24.11, в). Благодаря стандартизации можно получать колонны любой высоты путем соединения их секций по торцевым поверхностям.

Стойки — также типовые несущие вертикальные элементы каркасов для мелких сборочных приспособлений, в крупных же приспособлениях они служат опорами для балок. Стойки могут быть чугунными (см. рис. 24.11, г) и железобетонными (см. рис. 24.11, д).

Балки в сборочных приспособлениях (см. рис. 24.11, е) являются основными типовыми несущими горизонтальными элементами каркаса приспособления, работающими на изгиб и кручение. Размеры и сечения балок зависят от длины пролета, воспринимаемой нагрузки и количества опор и определяются на основании расчетов на жесткость. Балки воспринимают сложные переменные, а иногда и ударные нагрузки, поэтому они изготавливаются из стального проката. На балках монтируются установочные элементы приспособления.

В зависимости от формы и размеров собираемых узлов, панелей и агрегатов сборочные приспособления могут иметь одну или несколько балок, расположенных в приспособлении как горизонтально, так и под любым углом к горизонту.

Основания (см. рис. 24.11, ж) и фундаментные плиты (см. рис. 24.11, з) в приспособлениях служат опорами для колонн

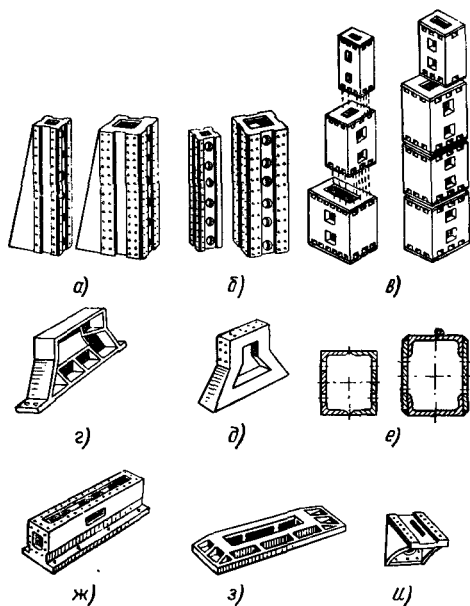


Рис. 24.11. Типовые конструкции несущих элементов каркаса сборочного приспособления

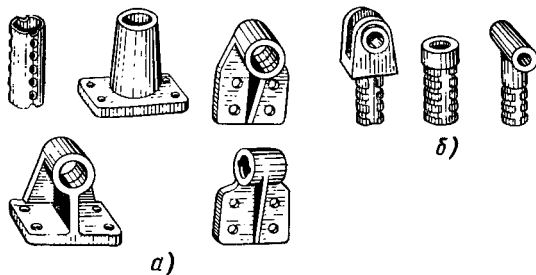


Рис. 24.12. Типовые конструкции установочных элементов сборочных приспособлений:

а — кронштейны и стаканы для крепления фиксаторов;
 б — вилки и втулки фиксаторов

каркаса и устанавливаются специально на бетонную подушку или непосредственно на пол сборочного цеха.

Кронштейны (см. рис. 24.11, *и*) связывают балки с колоннами и служат для установки и крепления на них других элементов сборочного приспособления.

Для сборки небольших узлов и панелей самолета применяются сборочные приспособления рамной конструкции (см. рис. 24.10). Рамы приспособлений устанавливаются на стойки, смонтированные на фундаментальные плиты. На некоторых приспособлениях рамы вращаются на подшипниках и снабжены стопорными устройствами для фиксации в необходимом положении.

Установочные элементы (рис. 24.12) в сборочном приспособлении служат базами для установки фиксаторов плоскостей узлов стыка, рубильников и ложементов, определяющих аэродинамические обводы агрегатов, панелей и отсеков самолета. Поэтому посадочные места для этих элементов и монтаж последних в приспособлении относительно выбранных баз должны быть выполнены с определенной точностью.

Фиксирующие и зажимные элементы (рис. 24.13) сборочных приспособлений, непосредственно соприкасающиеся с точками, плоскостями и аэродинамическими обводами собираемых в приспособлении элементов узла, панели, отсека и агрегата, определяют и фиксируют их взаимное положение. Степень точности сборки изделий зависит от элементов, поэтому к жесткости и точности их монтажа предъявляются повышенные требования.

Для обеспечения требуемой точности монтажа в приспособлении фиксирующих и зажимных элементов разработаны технологические процессы монтажа с применением эталонов, макетов и специального точного оборудования — инструментальных стенов и плаз-кондукторов. Точность сборки самих сборочных приспособлений контролируется специальными оптическими приборами, позволяющими проверять линейные и угловые параметры, заданные чертежом.

К вспомогательной оснастке сборочных приспособлений относятся элементы обслуживания и хранения — рабочие площадки, помосты, лестницы, стремянки и стеллажи, а также элементы

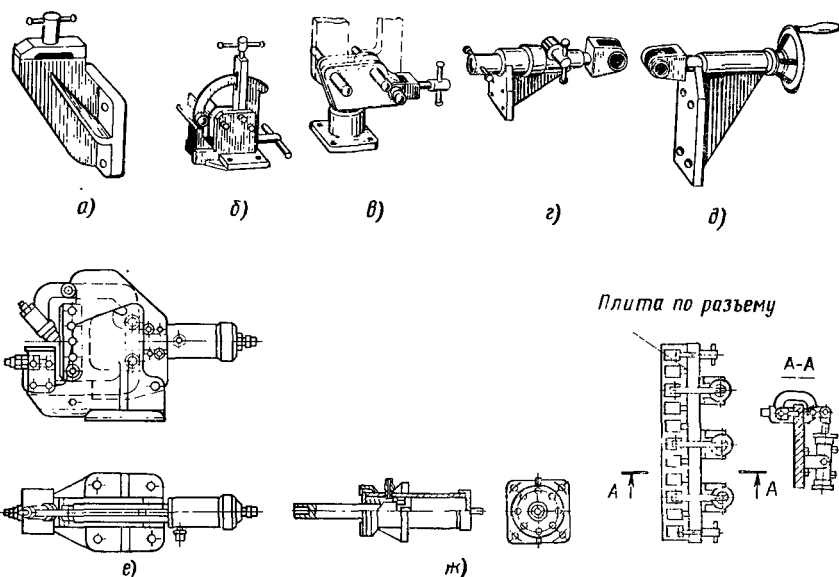


Рис. 24.13. Типовые конструкции фиксирующих и зажимных элементов сборочного приспособления:

Рычажно-винтовые: *a* — фиксатор с винтовым зажимом; *b* — фиксатор с рычажно-винтовым зажимом; *v* — фиксатор с винтовым поджимом; *г* — выдвижной фиксатор с тангенциальным зажимом; *д* — выдвижной фиксатор. Пневмогидравлические: *e* — фиксатор с гидравлическим поджимом; *ж* — выдвижной фиксатор; *з* — прижимы для фиксации профилей разъема

энергоснабжения — электропровода и воздушные трубопроводы, по которым подается энергия для инструментов.

Элементы обслуживания и хранения стандартизованы, что позволяет быстро их монтировать и демонтировать. Все элементы обслуживания и хранения должны обеспечивать удобство и безопасность сборочных работ и создавать условия для повышения производительности труда.

При стапельной сборке секций или агрегатов самолета неизбежно возникают поводки и искажения геометрии разъемов. Восстановление требуемой геометрии и обеспечение полной взаимозаменяемости достигается путем введения в конструкцию разъемов технологического компенсационного припуска и последующего его снятия путем механической обработки окончательно собранных секций или агрегатов в специальных агрегатно-разделочных стендах. В этих стендах производится фрезерование сопрягаемых поверхностей и расточка (разделка) стыковых отверстий.

Применение универсальных металлообрабатывающих станков для этих целей в большинстве случаев неприемлемо. Поэтому агрегатно-разделочные стенды, как правило, проектируются и изготавливаются на самолетостроительных заводах. Такие стенды оснащены универсальными сверлильными и фрезерными станка-

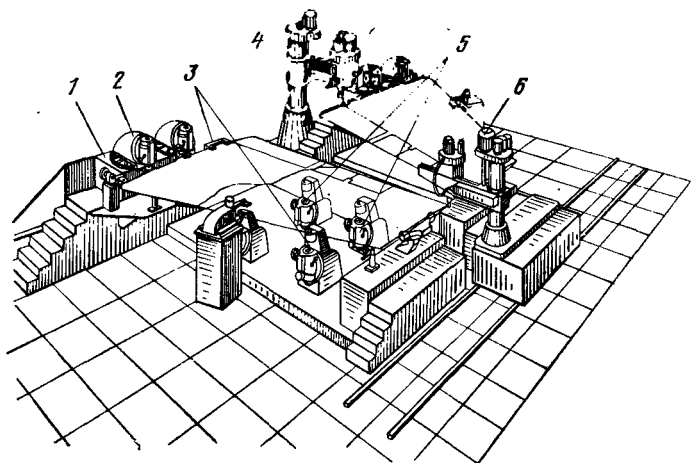


Рис. 24.14. Агрегатно-разделочный станок крыла:

1 — рама станка; 2 — поворотная головка для фрезерования плоскостей рам 7 и 9; 3 — кондукторы; 4 — радиально-сверлильный станок; 5 — сверлильные головки; 6 — радиально-сверлильный станок для разделки отверстий под балансировочную штангу

ми, кондукторами, копирами, измерительными приборами, поддерживающими и регулирующими устройствами.

На рис. 24.14 приведена схема агрегатно-разделочного стенда, в котором производится разделка стыковых отверстий и фрезерование плоскостей проушин крыльев самолета.

Аналогичный стенд может быть применен для фрезерования фланцевого разъема и расточки отверстий хвостовой части фюзеляжа.

§ 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Факторами, определяющими конструкцию сборочного приспособления, являются основные конструктивные и технологические характеристики собираемого в приспособлении узла, панели, отсека или агрегата самолета.

К конструктивным характеристикам собираемых элементов относятся:

геометрическая форма и габаритные размеры изделия, определяющие размеры и форму сборочного приспособления;

вид главной базирующей поверхности изделия, т. е. поверхности, подлежащей фиксации в приспособлении и определяющей количество и форму фиксаторов обвода (рубильников и ложементов);

виды и места плоскостей разъемов и узлов стыков изделий, определяющих количество, конструкцию и габаритные размеры плит и разъемов и рам жесткости;

виды соединений изделий между собой, определяющие несобходимый инструмент и оборудование.

К технологическим характеристикам собираемых элементов относятся:

метод и средства достижения взаимозаменяемости заготовительной и сборочной оснастки (плазово-шаблонный или эталонно-шаблонный);

метод и способ сборки (метод указывает, с чего начинается сборка: с обшивки или каркаса, а способ — как ведется сборка: по сборочным или базовым отверстиям);

последовательность выполнения сборочных операций и их содержание.

Исходными материалами для проектирования сборочных приспособлений являются:

1) чертежи собираемого изделия и технические требования к его сборке;

2) карты технологического процесса сборки изделия, определяющие:

номенклатуру и вид поставляемых на сборку элементов собираемого изделия;

последовательность установки и фиксации в приспособлении собираемых элементов;

количество и вид крепежных элементов;

номенклатуру инструмента и оборудования, применяемого при сборке;

средства, используемые для механизации процесса сборки (например, быстродействующие зажимные устройства, сварочные, клепальные и сверлильно-зенковальные головки и др.);

трудоемкость и цикл операций и сборки узла в целом;

3) технические условия на проектирование приспособлений, где должны быть указаны:

основные сборочные базы и фиксируемые элементы собираемого изделия;

сопрягаемые элементы собираемого изделия;

требуемая степень точности сборки, которую необходимо обеспечить в приспособлении;

технические средства монтажа и контроля сборки;

положение собираемого изделия в приспособлении;

методы обеспечения взаимозаменяемости;

чертеж общего вида приспособления с расположением элементов его каркаса;

направление и средства выема готового элемента изделия из приспособления;

номенклатура вспомогательной оснастки;

4) альбомы чертежей стандартных деталей и узлов и типовых компоновок стандартизованных приспособлений.

Проектирование приспособления начинается с детального изучения чертежей и технологического процесса сборки изделия

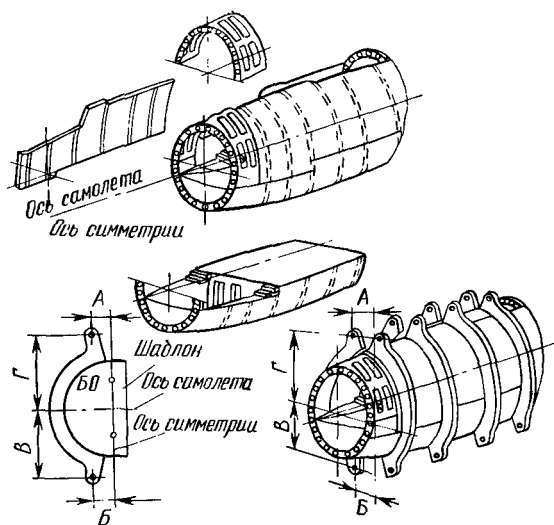


Рис. 24.15. Схема построения и увязки фиксирующих элементов сборочного приспособления с обводами переднего отсека фюзеляжа относительно главных базовых осей

в нем. В случае необходимости могут разрабатываться дополнительные требования к приспособлению. Особое внимание должно уделяться разработке схемы процесса сборки, на основании которой составляются и рассчитываются размерные цепи для определения возможных погрешностей сборки*.

Далее разрабатывается конструктивная схема приспособления. Для этого необходимо прежде всего выбрать базовые оси, относительно которых определяется положение основных элементов проектируемой конструкции. При выборе базовых осей целесообразно использовать одни и те же базовые оси для сборки и увязки между собой положения различных элементов собираемого изделия, как это показано, например, на рис. 24.15. При изготовлении сборочных приспособлений в инструментальном стенде и плаз-кондукторе необходимо, чтобы числовые значения размеров B и Γ были кратны 100, т. е. размеру шага расположения отверстий на координатных линейках инструментального стенда, а числовые значения размеров A и B — кратны 50, т. е. размеру шага отверстий на плаз-кондукторе. При выборе основных базовых осей нужно выбирать такие, которые упрощали бы конструктивную схему приспособления. Например, если за базовую ось принята передняя линия носков крыла, размеры, определяющие положение каждого фиксатора относительно оси балки приспособления, будут различными (рис. 24.16, а). Если же за базовую ось принять ось лонжерона, то размеры, определяющие положение фиксаторов от оси балки приспособления, будут одинаковыми,

* РТМ23—61. Методика расчета размерных цепей (на базе теории вероятностей). М.: Стандартгиз, 1962. 42 с.

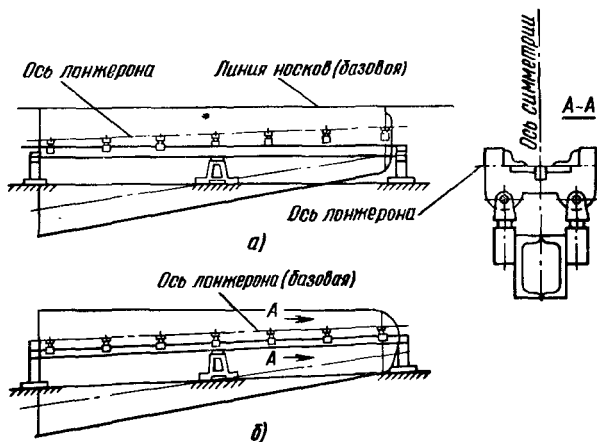


Рис. 24.16. Определение базовых осей приспособления для сборки носка крыла:
а — передняя линия носков в качестве базовой оси; *б* — ось лонжерона в качестве базовой оси

что повышает его прочность, упрощает изготовление и контроль за точностью изготовления приспособления (см. рис. 24.16, б).

После выбора осей намечается последовательность установки в приспособлении элементов собираемого в нем изделия, способ изготовления элементов конструкции самого приспособления и их сборки.

Следующим этапом проектирования является выбор масштаба, в котором должно быть вычерчено приспособление, и выполнение самого чертежа. На чертеже условными линиями должны быть показаны контур собираемого изделия, базовые оси или точки фиксации. Затем выбираются типовые несущие, установочные и фиксирующие элементы приспособления и производится расчет на жесткость его несущих (каркасных) элементов. Разрабатываются общий вид сборочного приспособления, схема увязки его конструкции и составляются ведомости стандартизованных элементов приспособления. При необходимости проектируются специальные детали и узлы сборочного приспособления.

Повышение требований к точности воспроизведения при сборке обводов самолета вызывает необходимость применения в сборочных приспособлениях все более жестких несущих элементов. Это требование обязывает выполнять расчеты на жесткость несущих элементов и узлов приспособлений для выбора таких их сечений, при которых деформации и перемещения не будут превышать допустимых.

Методика расчета приспособления на жесткость базируется на общих законах строительной механики с учетом специфических условий работы приспособления. Каркасы сборочных приспособлений обычно рассматриваются как многократно статически не-

пределимые системы, поэтому при их конструировании следует пользоваться приближенным методом расчета. При расчетах каркас условно расчленяется на отдельные балки и колонны, причем многоопорные балки заменяются двухопорными. Расчетной вертикальной нагрузкой на балки является вес рубильников, фиксаторов и других элементов приспособлений, а также вес собираемого в нем изделия (узла, панели, агрегата). Для приспособлений, балки которых несут рубильники и фиксаторы одного и того же веса, вертикальную нагрузку считают равномерно распределенной по длине балки. Если вес рубильников и фиксаторов изменяется по длине балки, то вертикальную нагрузку принимают изменяющейся по форме трапеции или треугольника. Нагрузки, действующие на балки приспособлений, во многих случаях приложены к ним эксцентрично, и, следовательно, вызывают кручение.

Для сокращения сроков проектирования сборочных приспособлений расчеты на жесткость балок и колонн производят по специально разработанным графикам *. Практика проектирования приспособлений свидетельствует, что деформации изгиба и кручения балок являются наибольшими слагающими суммарной деформации каркаса приспособления.

§ 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Все элементы сборочных приспособлений изготавливаются по технологии, принятой в общем машиностроении. Исключение составляют фиксирующие и зажимные элементы (рубильники и ложементы), образующие рабочие поверхности обвода изделия.

В связи с большой трудоемкостью и сложностью изготовления рабочих контуров металлических рубильников и ложементов, обусловленной точностью их окончательной подгонки по контуру собираемого изделия, в производстве широко применяют получение рабочего контура посредством слепка из карбинольно-цементной массы, снимаемого с макета поверхности изделия. Технология получения слепка следующая. На поверхность макета наносится слой технического вазелина, затем на него накладывается лента. Грубо обработанный рубильник выставляют на макете в заданном сечении с эквидистантным относительно поверхности макета зазором в 8 ... 10 мм. В пространство, образовавшееся зазором, вводится тестообразная карбинольно-цементная масса, которая, затвердевая, прочно соединяется с шероховатой поверхностью рубильника и лентой (рис. 24.17). Время выдержки карбинольно-цементной массы — около 2 ч. Затвердевшая на поверхности рубильника масса точно воспроизводит контур обвода изделия.

* Бойцов В. В. и др. Сборочные и монтажные работы. М.: Оборонгиз, 1959. 476 с.

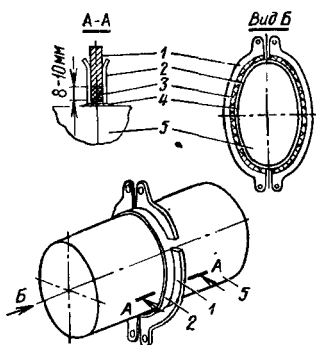


Рис. 24.17. Получение конфигурации рубильника сборочного приспособления:

1 — рубильник; 2 — лента; 3 — слепок с поверхности макета; 4 — технический вазелин; 5 — макет поверхности

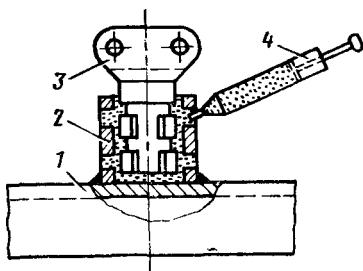


Рис. 24.18. Схема заливки стакана фиксатора:

1 — балка приспособления; 2 — стакан фиксатора; 3 — фиксатор; 4 — шприц с цементной массой

В настоящее время широко применяются специальные технологические процессы монтажа сборочных приспособлений, обеспечивающие высокую точность установки его фиксирующих и зажимных элементов и устраняющие все операции подгонки и доработки деталей.

Сущность этих процессов заключается в том, что фиксирующие и зажимные элементы приспособлений монтируются не непосредственно на жестких элементах каркаса (например, балках), а на промежуточных (установочных) элементах их крепления (станках, втулках), в которых фиксирующие и зажимные элементы закрепляются при помощи специальной цементной массы. В состав цементной массы входят: глиноземистый цемент марки 500, строительный или формовочный гипс, хлористый литий и вода.

Необходимая точность установки фиксирующих и зажимных элементов достигается следующим образом. Сначала с большими допусками (± 2 мм) на балках устанавливаются и привариваются установочные элементы (стаканы), затем в них при помощи специального оборудования точно выставляются фиксирующие и зажимные элементы.

Для устранения погрешностей при монтаже фиксирующих и зажимных элементов между последними и стаканами предусматривается зазор. Заливаемый в зазор наполнитель (рис. 24.18) играет роль компенсатора между недостаточно точно выставляемыми с помощью инструментального стенда фиксирующими и зажимными элементами.

Во время заливки фиксирующие и зажимные элементы поддерживаются в заданном положении при помощи инструментальных стендов и плаз-кондукторов или эталонов и макетов собираемых изделий.

Особенностью цементной массы является то, что при затверждении она не изменяет своего объема, сохраняя заданное положение

ние фиксирующих и зажимных элементов. Технология заливки предусматривает, чтобы поверхности, соприкасающиеся с заполнителем, обезжиривались до заливки его в стаканы. Время выдержки заполнителя с момента заливки стержней фиксирующих и зажимных элементов до освобождения их от поддерживающих средств — 7...12 мин.

Полное затверждение заполнителя происходит через 2...3 суток. До истечения этого срока стержень фиксирующего или зажимного элемента не должен подвергаться ударам, толчкам или каким-либо нагрузкам. Монтаж в залитых элементах оснастки допускается не ранее чем через 2 суток с момента заливки. Через 3 суток после заливки заполнитель приобретает прочность на разрыв до 2,2 МПа, на сжатие — до 25 МПа.

Если необходимо удалить цементную массу и освободить фиксирующие или зажимные элементы, стакан подогревают газовой горелкой до 200...250 °С и затем простукивают молотком, при этом цементная масса выкрашивается.

Изготовление отдельных элементов и монтаж сборочной оснастки производятся при помощи:

- инструментального (монтажного) эталона;
- плаз-кондуктора и инструментального стенда;
- высокоточных оптических приборов и лазеров.

Изготовление оснастки с помощью инструментального (монтажного) эталона обеспечивает высокую точность оснастки, очень хорошую взаимную увязку оснастки и значительно упрощает периодические проверки и ремонт оснастки. Вместе с тем инструментальные эталоны агрегатов являются весьма сложным и дорогостоящим сооружением и могут быть использованы только на данном конкретном изделии.

Наиболее целесообразно изготавливать инструментальные эталоны агрегатов легких самолетов и наиболее насыщенных частей агрегатов тяжелых самолетов при серийном изготовлении самолетов. В остальных случаях целесообразней для монтажа сборочной оснастки применять плаз-кондукторы и инструментальные стенды. *Инструментальный (монтажный) эталон* является жестким пространственным носителем формы и размеров агрегата и его частей. Инструментальный эталон несет на себе все стыковые узлы и воспроизводит наружные обводы агрегата в местах конструктивных сечений.

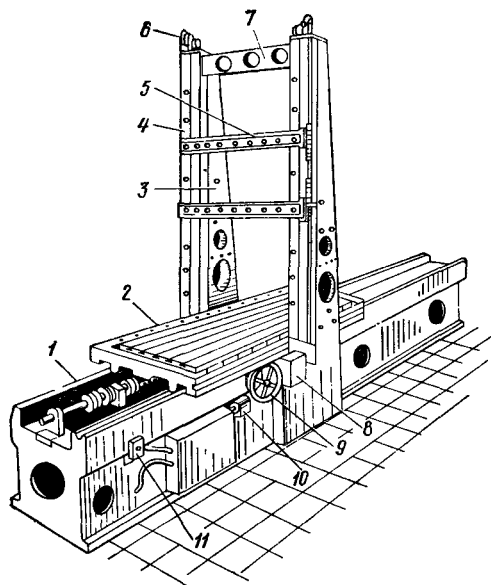
Инструментальный эталон в большинстве случаев выполняется члененой конструкции и воспроизводит наиболее сложные детали и сборочные узлы, входящие в конструкцию агрегата.

Конструктивно эталон представляет собой жесткий каркас с реперными опорами для установки его в стапель или на монтажную плиту. На каркасе эталона устанавливают заполнители (ложементы) и монтируются стыковые узлы агрегата и его элементов.

Монтаж сборочной оснастки с применением инструментального эталона выполняют в следующей последовательности: собирают

Рис. 24.19. Конструктивная схема инструментального стэнда:

1 — станина; 2 — передвижной стол с продольной линейкой; 3 — стойка; 4 — вертикальная линейка, закрепленная на стойке; 5 — поперечная линейка; 6 — ролик троса противовеса для установки поперечной линейки; 7 — поперечная балка, связывающая стойки; 8, 10 — щитки управления; 9 — штурвал ручного передвижения стола; 11 — концевой выключатель



каркас сборочной оснастки из стандартных вертикальных чугунных блоков и продольных сварных балок. На каркасе выполняются реперные площадки, на которые устанавливается эталон. По эталону производится установка рубильников с крепежными элементами к продольным балкам. Затем

производят установку фиксаторов стыковых и других узлов, упоры, кондукторы и другие элементы оснастки.

После снятия эталона производится установка прижимов, домкратов, сверлильных и фрезерных головок, гидropодъемников и других элементов механизации оснастки.

Для обеспечения требуемой точности монтажа в приспособлении фиксирующих и зажимных элементов применяются инструментальные стенды и плаз-кондукторы. *Инструментальный стенд* служит для точной установки в приспособлении фиксирующих и зажимных элементов и удержания их в заданном положении во время заливки заполнителя в компенсирующие зазоры между фиксирующими и установочными элементами. Необходимое положение фиксирующих элементов определяется в инструментальном стенде посредством координатных линеек. Пространственные сборочные приспособления могут быть смонтированы в них с точностью до 0,1 мм.

Инструментальные стенды, отличающиеся надежностью в эксплуатации, позволяют решить основные технологические задачи по обеспечению высокой точности монтажа и увязки сборочных приспособлений. Кроме того, применение инструментальных стендов сокращает трудоемкость монтажа приспособлений и общий цикл подготовки производства.

На рис. 24.19 приведена конструктивная схема инструментального стэнда. Основание 1 представляет собой литую чугунную станину с параллельными направляющими. По направляющим перемещается стол 2, на котором устанавливаются каркасы монти-

руемых приспособлений. По бокам станины установлены две литые чугунные стойки 3, связанные сверху поперечной балкой 7. Стол может перемещаться электродвигателем со скоростью 2,5 м/мин или вручную.

Система координатных линеек инструментального станда состоит из двух продольных линеек, укрепленных на боковых плоскостях стола и передвигающихся вместе с ним, двух вертикальных линеек, смонтированных на стойках станда и двух поперечных линеек 5, передвигающихся вдоль вертикальных линеек. Поперечные координатные линейки уравниваются противовесами, помещенными во внутренней полости стоек, и закрепляются на требуемой высоте болтами, скользящими в Т-образных пазах вертикальных линеек. Такие же пазы имеются и в других координатных линейках станда. Вдоль всех координатных линеек с шагом $200 \pm 0,01$ мм расточены и заномерованы калиброванные отверстия, в которые установлены закаленные шлифованные втулки с внутренним диаметром 12 мм. При помощи этих отверстий можно установить линейки на любой размер, численное значение которого должно быть кратным 200.

Размеры между калиброванными отверстиями на координатных линейках в пределах 200 мм определяются при помощи универсальных микрометрических или специальных дистанционных калибров.

Монтаж приспособления на инструментальном станде производят следующим образом. Собранные каркасы приспособлений или их отдельные элементы (например, балки) устанавливаются на столе инструментального станда так, чтобы их координатные оси были параллельны координатным линейкам станда, а начало отсчета установочных размеров крепления фиксирующих элементов приспособлений совмещалось с началом отсчетов координатных линеек.

Координаты положения фиксирующих элементов в каркасе приспособления определяются по координатным линейкам, микрометрическим и дистанционным калибрам.

Фиксирующие элементы закрепляются в заданном положении переходными фитингами, которые, в свою очередь, крепятся в пазах координатных линеек.

Для увязки положения осей крепежных отверстий фиксирующих и зажимных элементов с их рабочим контуром применяют плаз-кондукторы (рис. 24.20).

Плаз-кондуктор представляет собой горизонтальный стол с жестко закрепленными продольными координатными линейками, имеющими отверстия, расстояние между центрами которых равно 50 мм. На столе могут свободно перемещаться также поперечные координатные линейки с отверстиями, размещенными с шагом 50 мм.

Передвигая поперечные линейки вдоль стола, можно совместить центр одного из ее отверстий с любой точкой на плоскости

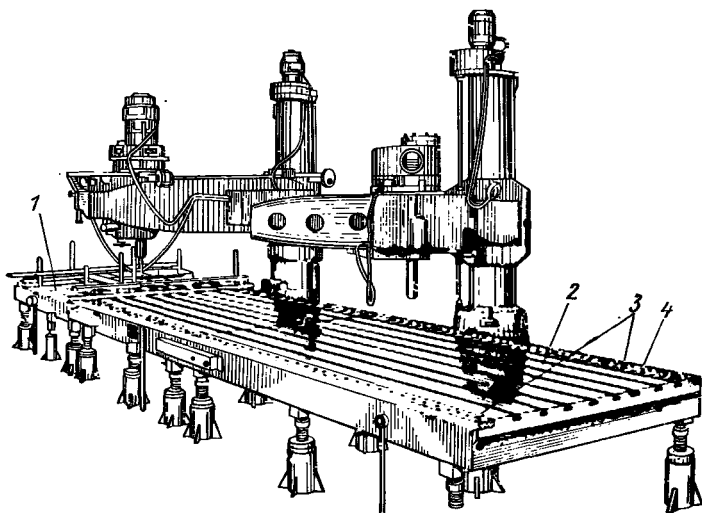


Рис. 24.20. Плаз-кондуктор:

1 — передвигные поперечные координатные линейки; 2 — стол плаз-кондуктора; 3 — неподвижные продольные координатные линейки; 4 — установочные отверстия

стола, численное значение координат которой кратно 50. Таким образом, плаз-кондуктор представляет собой систему прямоугольных координат. Рядом с плаз-кондуктором располагают один-два сверлильных станка.

На плаз-кондукторе через переходные втулки поперечной линейки сверлят и развертывают крепежные отверстия в фиксирующих и зажимных элементах приспособлений. В эти отверстия по шаблону или макету устанавливают втулки, фиксируют их при помощи штырей, пропущенных через две поперечные линейки плаз-кондуктора, и закрепляют специальной цементной массой.

Точность сборки приспособлений контролируют специальными оптическими приборами, проверяя горизонтальность, взаимную параллельность и перпендикулярность плит, соосность осей и отверстий узлов фиксации, расположенных под любым углом к горизонту. В комплект выпускаемых отечественной промышленностью оптических приборов, применяемых при контроле приспособлений, входят: прецизионный нивелир, автоколлиматор с отражающими зеркалом, теодолит, квадрант с зеркалом, центропризма, стойка с маркой и пр.

Нивелир представляет собой зрительную трубу, устанавливаемую при помощи точного горизонтального уровня и имеющую возможность вращаться вокруг вертикальной оси, сохраняя строго горизонтальное положение оптической и совмещенной с ней визирной осей трубы. Визирная ось трубы отмечена сеткой нитей, которая хорошо видна через окуляр в поле зрения. Оптическая

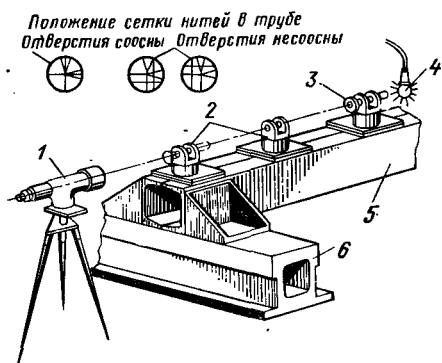


Рис. 24.21. Схема проверки нивелиром соосности фиксаторов приспособления, расположенных на одной горизонтальной оси: 1 — нивелир; 2 — вилки фиксаторов приспособления; 3 — целевой знак; 4 — лампа для освещения целевого знака; 5 — балка приспособления; 6 — основание приспособления

лира деления, совмещенного со средней горизонтальной линией сетки нитей.

На рис. 24.21 в качестве примера показано применение нивелира для проверки соосности фиксирующих элементов приспособления, расположенных на одной горизонтальной оси. Вспомогательным прибором при такой проверке является целевой знак, представляющий собой полую трубку с наружным диаметром, равным диаметру отверстия фиксирующего элемента приспособления. По концам трубки установлены плоские стекла. На одном из стекол имеется крест нитей, пересечение которых находится на оси трубки. Противоположное стекло матовое и его используют для подсвета.

Для проверки соосности трех и более отверстий нивелир предварительно устанавливают по общей оси двух крайних отверстий. После этого трубу нивелира закрепляют неподвижно и переставляют целевой знак в промежуточные отверстия, соосность которых проверяют. Если центры этих отверстий не смещены от установленной осевой линии, то видимый в нивелир крест нитей целевого знака, установленного в промежуточное отверстие, совместится с сеткой нитей нивелира. В комбинации с прибором, называемым «квадрантом с зеркалом», нивелир используют для проверки соосности отверстий фиксирующих элементов, когда их общая ось находится под углом к горизонту.

Автоколлиматор представляет собой оптическую трубу, в которой имеется сетка нитей, освещаемая низковольтной лампой (рис. 24.22). Оптическая система автоколлиматора направляет лучи света лампы из трубы таким образом, что они выходят параллельным пучком.

система нивелира дает перевернутое изображение, что важно учитывать при проведении отсчетов.

Нивелир позволяет определять разность высот любых заданных точек путем измерения высоты каждой из них относительно горизонтальной плоскости, в которой находится визирная ось зрительной трубы нивелира. Высота заданной точки относительно визирной оси трубы измеряется с помощью приставляемой к этой точке вертикально какой-либо масштабной линейки и отсчетом видимого через трубу нивелира деления, совмещенного со средней горизонтальной линией

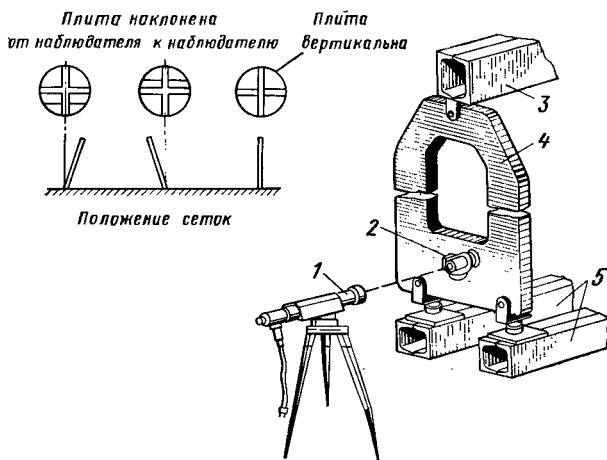


Рис. 24.22. Схема проверки автоколлиматором вертикальности плиты сборочного приспособления:

1 — автоколлиматор; 2 — отражающее зеркало; 3 — верхняя балка приспособления; 4 — плита узла разъема собираемого агрегата; 5 — нижние балки приспособления

Если на своем пути лучи встретят зеркало, расположенное под прямым углом к направлению пучка лучей, то, отразившись от зеркала, они вернуться в трубу автоколлиматора по тому же направлению. Это свойство автоколлиматора используют для проверки положения плит и других элементов приспособлений. Автоколлиматор устанавливают горизонтально по имеющемуся в нем точному уровню.

Теодолит представляет собой оптический прибор, используемый для угловых измерений. Он состоит из зрительной трубы, установленной на специальной подставке, позволяющей вращать трубу в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Положение трубы в обеих плоскостях определяется точным лимбом. Теодолитом проверяют положение фиксирующих узлов, оси которых должны находиться в одной вертикальной плоскости.

При монтаже и контроле крупногабаритного сборочного приспособления применяют *оптико-телевизионную* установку (ОТУ) с комплектом целевых знаков. Установка позволяет контролировать с высокой точностью положение горизонтальных и вертикальных плоскостей, а также расположение фиксирующих и зажимных элементов.

Передающая камера установки 1 (рис. 24.23) и нивелир 2 расположены на одном основании 3, позволяющем поднимать их на необходимую высоту и вращать вокруг общей вертикальной оси.

Видеоприемное устройство 4 выполнено быстроръемным, поэтому в процессе работы его можно располагать отдельно от ОТУ в удобном для наблюдения месте.

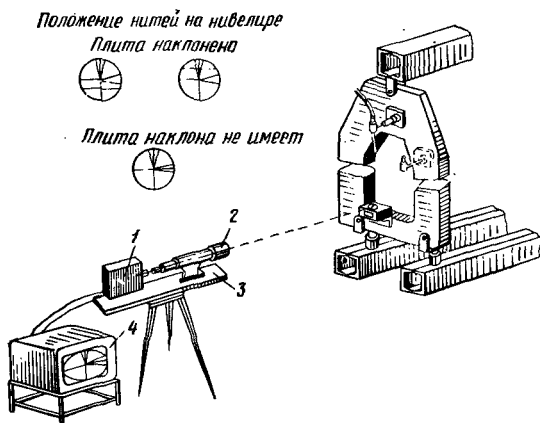


Рис. 24.23. Схема контроля установки плиты приспособления при помощи оптико-телевизионной установки:

- 1 — передающая камера;
2 — нивелир; 3 — основание;
4 — видеоприемное устройство

Описанными примерами далеко не исчерпываются встречающиеся на практике случаи применения точных оптических приборов для контроля сборочных приспособлений. В частности, оптические приборы можно использовать не только для контроля точности уже смонтированных приспособлений, но и для их монтажа.

§ 5. ВЗАИМНАЯ УВЯЗКА СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Рассмотренные методы и средства монтажа приспособлений обеспечивают высокую точность собранных в них отдельных отсеков и агрегатов самолета. Однако всего этого бывает недостаточно для полной взаимозаменяемости собираемых в них изделий по стыковым узлам, особенно таких, в которых имеются подвижные элементы конструкции, например, каждый изготовленный руль высоты должен без доработок подсоединяться к любому стабилизатору, каждый элерон — к крылу и т. д.

Взаимозаменяемость собранных в приспособлениях и в дальнейшем соединяемых друг с другом изделий по стыковым узлам достигается на основе взаимного согласования или взаимной увязки всего комплекта технологической оснастки.

В качестве основных средств увязки приспособлений применяются специально изготавливаемые эталоны изделий, являющиеся жесткими носителями форм и размеров.

Если нет необходимости отразить в эталонах полный контур плоскости стыка отсека или агрегата, то эталон делается упрощенным и охватывает только стыковые узлы или другие важные элементы конструкции, становясь калибром узла разъема. На рис. 24.24 в качестве примера показаны эталоны узлов крепления агрегатов хвостового оперения. Все эталоны взаимно согласованы по фактическим размерам. Узлы приспособлений для сборки отдельных агрегатов хвостового оперения, установленные по этим

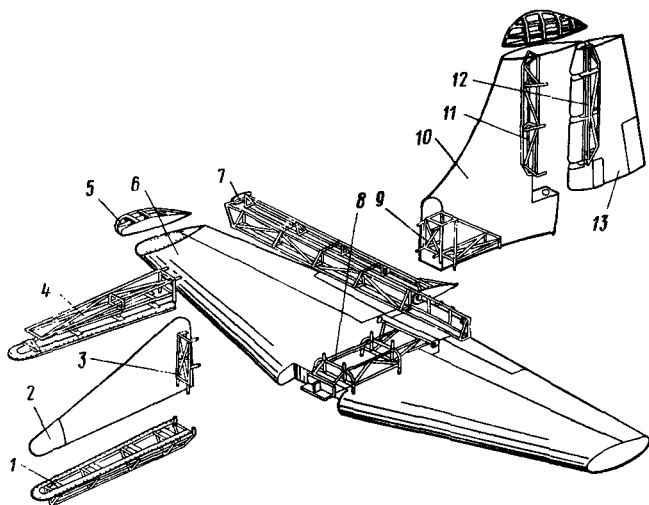


Рис. 24.24. Эталоны узлов крепления агрегатов хвостового оперения:

1 — контрэталон форкиля (эталон для фюзеляжа); 2 — форкиль (передняя часть киля); 3 — эталон крепления форкиля с килем; 4 — эталон крепления форкиля с фюзеляжем (указывается с контрэталоном 1); 5 — эталон концевой части стабилизатора; 6 — стабилизатор; 7 — эталон руля высоты; 8 — эталон крепления стабилизатора с фюзеляжем; 9 — эталон крепления киля с фюзеляжем (увязывается с эталоном 3); 10 — киль; 11 — эталон крепления киля с рулем направления; 12 — эталон руля направления (увязывается с эталоном 11); 13 — руль направления

эталонам, становятся также согласованными, т. е. увязанными между собой. Благодаря этому достигается взаимозаменяемость готовых отсеков и агрегатов, правильная их стыковка и нормальная работа подвижных элементов изделия.

Для обеспечения взаимозаменяемости по стыкам и разъемам необходимо учитывать методы независимого и зависимого изготовления агрегатов.

При независимом изготовлении агрегатов технологические допуски рассчитываются по методу размерных цепей для всех видов технологической оснастки, в то время как при зависимом рассчитывают на точность только эталонную оснастку (эталонные калибры разъемов и стыков, эталонные мастер-плиты и т. д.).

Увязка стыковых отверстий отсеков и агрегатов самолета по узлам стыка фланцевого типа осуществляется в сборочных приспособлениях при помощи монтажных эталонов, точно соответствующих аэродинамическим обводам отсеков и агрегатов. Применение монтажных эталонов дает возможность увязать между собой элементы, определяющие аэродинамические обводы отсеков и агрегатов в сборочных приспособлениях и заготовительной оснастке.

Схема увязки технологической оснастки для изготовления деталей, сборки узлов отсеков и агрегатов приведена на рис. 24.25.

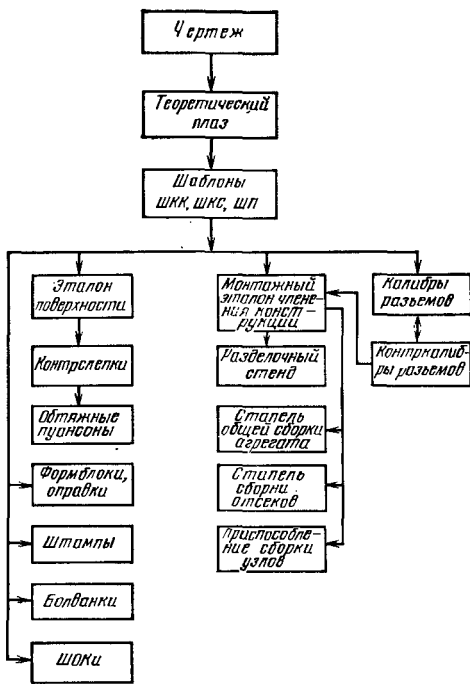


Рис. 24.25. Схема увязки технологической оснастки для изготовления деталей, узлов и агрегатов

телей крыльев и оперения, соединения тяг систем управления.

Конструктивно-технологические виды, схемы и методика обеспечения взаимозаменяемости этих разъемов и стыков приведены в имеющейся литературе [22].

Окончательная обработка отверстий стыковых узлов отсеков и агрегатов производится обычно в специальных разделочных стендах, в которых имеются фиксаторы для закрепления обрабатываемых отсеков и агрегатов в заданном положении, кондукторы для направления режущего инструмента и механические головки привода инструментов. При этом размещение фиксаторов стенда и установленных на нем кондукторов должно быть также увязано со всем комплектом сборочной оснастки.

Применение инструментальных стендов, плаз-кондукторов, эталонов и калибров не только наиболее полно обеспечивает все требования к точности сборочных приспособлений, но и дает возможность дублировать оснастку в любом количестве экземпляров. При дублировании приспособления монтируются, собираются и

Наибольшее распространение в самолетостроении получили следующие конструкции разъемов и стыков: вильчатые (гребенчатые), фланцевые, телескопические и ряд других.

Вильчатые разъемы и стыки наиболее широко применяются при соединении с отсеками или агрегатами рулей высоты, элеронов, триммеров, в соединениях подкосов шасси, отсеков и агрегатов между собой.

Фланцевые стыки и разъемы применяются для соединения отсеков и агрегатов планера и крепления к элементам планера приборов и оборудования.

Телескопические стыки и разъемы выполняются болтовыми или резьбовыми; такие стыки применяются для соединения отсеков фюзеляжа, крепления, концевых обтека-

увязываются при помощи тех же средств, что и первые их образцы. Это обеспечивает полную идентичность дублируемой технологической оснастки.

§ 6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И УВЯЗКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ МЕЖДУ ВЕДУЩИМИ ЗАВОДАМИ

Сохранение первоначальной точности, жесткости и размерно-габаритных характеристик сборочных приспособлений в значительной мере зависит от условий их эксплуатации.

Эксплуатацию сборочных приспособлений проводят по системе планово-предупредительного ремонта (ППР). На каждое приспособление составляется паспорт с указанием времени его изготовления, технических характеристик, а также средств проверки и ремонта. Паспорт является единым техническим документом, удостоверяющим пригодность приспособления для эксплуатации. В паспорте отражаются все изменения конструкции и отклонения в допусках по базовым размерам. Периодичность проверок и ремонтов и общая длительность ремонтного цикла устанавливаются в зависимости от числа собираемых в приспособлениях узлов или календарного времени (сроков). Количество сборочных единиц, изготавливаемых при помощи данного приспособления между проверками или ремонтами, определяется на основе статистических данных или нормативных таблиц.

Проверяют приспособления с помощью эталонов, макетов, калибров и оптических приборов. Данные о результатах проверки и состоянии сборочного приспособления должны вноситься в паспорт приспособления.

Увязка технологической оснастки между ведущими и ведомыми заводами

Обеспечение межзаводской взаимозаменяемости агрегатов, изготавливаемых на различных заводах, — одна из важнейших задач организации производства. Для решения такой задачи из числа заводов, занятых кооперированным производством одного и того же самолета, выделяется один — ведущий завод.

Методы и средства обеспечения взаимозаменяемости агрегатов на ведущем заводе принимаются за эталонные для всех других заводов. Ведущий и ведомые заводы должны быть связаны взаимно согласованным комплексом организационно-технических мероприятий, в которые входят следующие работы в области межзаводской взаимозаменяемости агрегатов:

разработка и создание единой для всех заводов контрольно-эталонной и рабочей оснастки;

увязка между заводами и отстыковка контрольно-эталонной оснастки;

периодические контрольные стыковки агрегатов для проверки точки износа рабочей оснастки.

Для достижения межзаводской взаимозаменяемости прежде всего необходимо иметь единые технологические процессы, единую оснастку и оборудование на ведущем и ведомых заводах для изготовления тех элементов агрегатов, которые оказывают влияние на уровень взаимозаменяемости.

Единство контрольно-эталонной оснастки достигается применением:

единых для всех заводов чертежей, разрабатываемых ведущим заводом;

одной и той же технологии изготовления;

одних и тех же методов увязки оснастки;

одних и тех же методов контроля оснастки как на различных стадиях ее изготовления, так и в готовом виде.

Кроме того, составляется принципиальная схема увязки контрольно-эталонной оснастки между ведущим и ведомым заводами. В обеспечении межзаводской взаимозаменяемости агрегатов особое значение приобретает система допусков для эталонной и рабочей технологической оснастки.

Допуски на элементы оснастки связаны с допусками на соответствующие размеры самолета. Допуски на размеры оснастки должны быть меньше допусков на соответствующие размеры агрегата, так как в процессе изготовления и сборки возникают различного вида производственные погрешности, которые приводят к увеличению допуска на размер агрегата по сравнению с допуском на этот размер на оснастке.

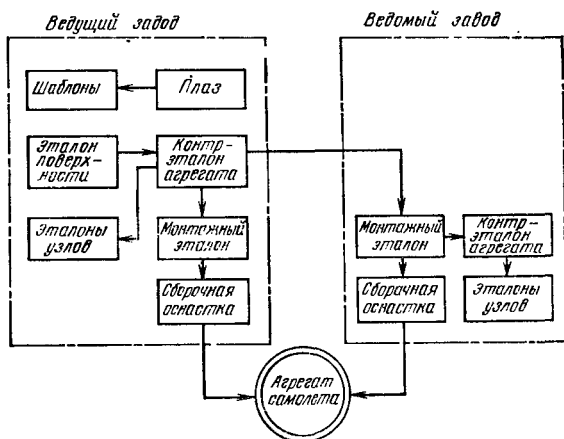
Для большей гарантии получения требуемого допуска на размер агрегата желательно принимать возможно меньше допуски на оснастку, но это приводит к удорожанию оснастки, а в ряде случаев вообще ее невозможно изготовить с такой степенью точности.

Наиболее рационально решать этот вопрос путем установления максимально возможных допусков на размеры агрегатов и реальных выполнимых в производстве допусков на технологическую оснастку.

В соответствии с принятыми допусками на размеры технологической оснастки производится увязка и отстыковка контрольно-эталонной оснастки ведущего и ведомого заводов.

Отстыковка контрольно-эталонной оснастки — это процесс соединения, контроля и последующего разъединения эталонных калибров разъемов, стыков или эталонных мастер-плит в целях проверки их увязки по сопрягаемым поверхностям. Вся контрольно-эталонная оснастка ведомых заводов отстыковывается (проверяется путем совмещения и сравнения размеров) на ведущем заводе по его контрольно-эталонной оснастке при запуске самолета в производство и периодически по календарному графику, но не реже одного, двух раз в год. Результаты отстыковки и необходимые доработки оснастки отражаются в специальных актах.

Рис. 24.26. Схема увязки технологической оснастки для агрегата самолета между ведущими и ведомыми заводами



На самих ведущих и ведомых заводах также периодически производят отстыковку контрольно-эталонной оснастки с рабочей оснасткой, а рабочей оснастки — с элементами сборочных приспособлений или разделочных стенов.

В качестве увязывающего элемента, определяющего взаимозаменяемость соединяемых агрегатов, являются монтажные эталоны этих агрегатов. Эти эталоны взаимно отстыковываются между собой через контрэталон ведущего завода, а затем по ним изготавливается сборочная оснастка и разделочные стеноды. На ведомых заводах при изготовлении оснастки применяют те же технологические процессы, что и на ведущем, но последовательность процессов здесь несколько иная. Монтажный эталон ведомого завода изготавливается по контрэталону ведущего завода. Далее ведомый завод изготовляет для себя по монтажному эталону контрэталон агрегата, эталоны узлов и сборочную оснастку (рис. 24.26).

Контрольная отстыковка агрегатов

Для контроля взаимозаменяемости агрегатов, изготавливаемых одним или несколькими заводами, периодически производятся перекрестные их стыковки на самолетостроительных, ремонтных заводах и на аэродромах. Проверка осуществляется на основе их монтажа на готовом самолете.

При отстыковке агрегата размеры, на которые даны допуски, проверяются при помощи нивелирования, измерения линейками, шаблонами, щупами и другими измерительными средствами. Параметры, определяющие взаимозаменяемость агрегатов по стыку, даются в технических условиях на их проверку. При необходимости по результатам проверки взаимозаменяемости производится доработка контрольно-эталонной и рабочей оснастки. Проведенная контрольная отстыковка оформляется актом.

1. **Абакумов М. М.** Современные станочные приспособления. М.: Машгиз, 1960. 327 с.
2. **Абибов А. Л.** Применение конструкционных пластмасс в производстве летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1971. 190 с.
3. **Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства**/В. М. Зарубин, Н. М. Капустин, В. В. Павлов и др. М.: Машиностроение, 1979. 247 с.
4. **Акулов Н. М., Бельцук Т. А., Демьянович В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. 432 с.
5. **Ансеров М. А.** Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1975. 656 с.
6. **Альшиц И. Я., Благоев Б. Н.** Проектирование деталей из пластмасс. М.: Машиностроение, 1977. 215 с.
7. **Балакшин Б. С.** Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. 559 с.
8. **Белюсов П. А.** Проектирование приспособлений. М.: Машиностроение, 1964. 187 с.
9. **Бельский Е. И., Дмитриевич А. М., Ложечников Е. Б.** Новые материалы в технике. Минск: Беларусь, 1971. 271 с.
10. **Белянин П. Н.** Технология и оборудование для производства широкофюзеляжных самолетов в США. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
11. **Берсудский В. Е., Крысин В. Н., Лесных С. И.** Технология изготовления сотовых авиационных конструкций. М.: Машиностроение, 1975. 295 с.
12. **Бирюков Н. М., Чударев П. Ф.** Лекции по курсу «Теоретические основы технологии и процессы изготовления деталей самолетов». М.: Оборонгиз, 1963. 172 с.
13. **Бойцов В. В.** Механизация и автоматизация в мелкосерийном производстве. М.: Машгиз, 1962. 436 с.
14. **Горанский Г. К., Кочуров В. А., Франковская В. П.** Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении. М.: Машиностроение, 1976. 240 с.
15. **Горбунов М. Н.** Основы технологии производства самолетов. М.: Машиностроение, 1976. 260 с.
16. **Горбунов М. Н.** Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов. М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
17. **Горошкин А. К.** Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. М.: Машиностроение, 1971. 303 с.
18. **Григорьев В. П.** Влияние технологичности выполнения соединений листовых деталей на их прочность и выносливость. М.: Оборонгиз, 1963. 208 с.
19. **Григорьев В. П.** Взаимозаменяемость агрегатов в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1969. 258 с.

20. Григорьев В. П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
21. Григорьев В. П., Гайнихаев Ш. Ф. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1977. 138 с.
22. Зернов И. А., Коиоров Л. А. Теоретические основы технологии и процесса изготовления деталей самолетов. М.: Оборонгиз, 1960. 631 с.
23. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. М.: Машгиз, 1962. 328 с.
24. Ишуткин В. И. Технологическая надежность системы СПИД. М.: Машиностроение, 1973. 127 с.
25. Капелюшник И. И., Михалев И. И. Технология склеивания деталей в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1979. 159 с.
26. Капустин Н. М. Разработка технологических процессов обработки деталей с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
27. Кейгл Ч. В. Клеевые соединения: Пер. с англ./Ред. Д. А. Кардашов. М.: Мир, 1971. 295 с.
28. Композиционные материалы в конструкции летательных аппаратов: Пер. с англ./Пер. Г. А. Молодцов; Под ред. А. Л. Абибова. М.: Машиностроение, 1975. 271 с.
29. Кузнецов А. А., Пономарев В. С. Универсально-сборочные приспособления в машиностроении. М.: Трудрезервиздат, 1951, 180 с.
30. Кузнецов Ю. Н. Технологическая оснастка к станкам с программным управлением. М.: Машиностроение, 1976. 224 с.
31. Леньков С. С., Орлов С. П. Шаблоны и объемная оснастка в самолетостроении. М.: Оборонгиз, 1963. 400 с.
32. Лысов М. И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки. М.: Машиностроение, 1966. 236 с.
33. Малов А. И. Технология холодной штамповки. М.: Оборонгиз, 1958. 375 с.
34. Мещерин В. Т. Листовая штамповка. Атлас схем. М.: Машиностроение, 1975. 227 с.
35. Нормализованные станочные приспособления. Справочник конструктора/Е. И. Вязнев, С. В. Подгорнов, В. М. Чернышев и др. М.: Оборонгиз, 1963. 504 с.
36. Павлов В. В. Математическое обеспечение САПР в производстве летательных аппаратов. М.: МФТИ, 1978. 67 с.
37. Пихтовников Р. В., Завьялов В. И. Штамповка листового металла взрывом. М.: Машиностроение, 1964. 174 с.
38. Резниченко В. И. Изготовление лопастей вертолетов из неметаллических материалов. М.: МАИ, 1977. 63 с.
39. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1965. 788 с.
40. Сварка в машиностроении/К. В. Васильев, В. И. Вилль, В. Н. Волоченко. М.: Машиностроение, 1978.
41. Силаев И. С., Бакаев В. И., Скворцов Т. П. Система КАНАРСПИ в действии. М.: Изд-во стандартов, 1974. 167 с.
42. Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1964. 327 с.
43. Смирнов-Аляев Г. А., Вайтруб Д. А. Холодная штамповка в приборостроении. М.: Машгиз, 1963. 435 с.
44. Справочник металлиста. Т. 2/Под ред. Б. Л. Богуславского. М.: Машиностроение, 1978.
45. Структура и свойства композиционных материалов/К. И. Портной, С. Е. Салибеков, И. Л. Светлов, В. М. Чубаров. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
46. Сумина А. М., Евстигнеев М. И. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1974. 255 с.
47. Технология конструкционных материалов/А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова и др. М.: Машиностроение, 1977. 664 с.

48. **Технология** металлов и сварка/П. И. Полухин, Б. Т. Гринберг, В. Т. Жадан и др. М.: Высшая школа, 1977. 464 с.
49. **Технология** производства летательных аппаратов/В. Г. Кононенко, П. Н. Кучер, Ю. А. Боборыкин и др. Киев.: Высшая школа, 1974. 222 с.
50. **Технологические** процессы и оборудование для выполнения болтовых и заклепочных соединений в конструкциях самолетов/В. П. Григорьев, А. И. Ярковец, Б. А. Догматырский и др. Ташкент: ФАН, 1971. 96 с.
51. **Технология** самолетостроения/А. Л. Аббатов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др. М.: Машиностроение, 1970. 599 с.
52. **Точность** производства в машиностроении и приборостроении/Под ред. А. Н. Гаврилова. М.: Машиностроение, 1973. 567 с.
53. **Фираго В. П.** Основы проектирования технологических процессов. М.: Оборонгиз, 1963. 531 с.
54. **Цветков В. Д.** Система автоматизации проектирования технологических процессов. М.: Машиностроение, 1976. 240 с.
55. **Чударев П. Ф.** Методологические основы технологии. М.: МАИ, 1967. 113 с.
56. **Шнейдер Ю. Г.** Чистовая обработка металлов давлением. М.: Машгиз, 1963. 270 с.
57. **Шофман Л. А.** Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1964. 375 с.
58. **Ярковец А. И.** Основы механизации и автоматизации технологических процессов в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

Раздел первый

Основы технологии самолетостроения

<i>Глава 1.</i> Особенности самолетостроения	5
§ 1. Особенности самолета и самолетостроительного производства	5
§ 2. Структура предприятия, его производственный процесс, объем и программа выпуска самолетов	8
§ 3. <u>Понятия о технологии самолетостроения, технологическом процессе и его составляющих</u>	9
§ 4. Типы производства	14
<i>Глава 2.</i> Технологические методы обеспечения качества самолета как объекта производства и эксплуатации	17
§ 1. Общие понятия о качестве промышленной продукции. Показатели качества	17
§ 2. Технологические методы обеспечения заданного ресурса	22
§ 3. Технологические методы создания конструкций минимальной массы	24
§ 4. Общие принципы обеспечения заданной точности изготовления и сборки изделий	26
§ 5. <u>Целозово-шаблонный метод увязки форм и размеров изделий</u>	34
§ 6. <u>Основные методы технического контроля качества</u>	47
<i>Глава 3.</i> Экономическая эффективность технологических процессов	52
§ 1. Технологические методы повышения производительности труда	53
§ 2. Технологические методы снижения себестоимости продукции	60
<i>Глава 4.</i> Основы механизации и автоматизации технологических процессов	73
§ 1. Конструктивные и технологические предпосылки механизации и автоматизации	73
§ 2. Автоматические системы управления технологическими процессами (АСУТП).	74
§ 3. Числовые системы программного управления (ЧСПУ).	82
§ 4. Автоматизация процессов контроля	95
§ 5. Автоматические линии	96
§ 6. Промышленные роботы	98
§ 7. Обработывающие центры и агрегатные станки	101

Процессы изготовления деталей самолетов

Глава 5. Характеристика предметов обработки и классификация технологических процессов

- § 1. Конструктивно-технологические особенности деталей
- § 2. Характерные полуфабрикаты и заготовки из металлов и их сплавов, применяемые для изготовления деталей
- § 3. Классификация технологических процессов

Глава 6. Процессы формообразования разделением полуфабриката и удалением излишнего материала

- § 1. Классификация процессов и припуски на обработку
- § 2. Механические процессы
- § 3. Электрические процессы
- § 4. Электрохимические процессы
- § 5. Химические процессы
- § 6. Акустические процессы
- § 7. Тепловые процессы

Глава 7. Процессы формообразования холодным деформированием

- § 1. Листовая штамповка
- § 2. Объемная штамповка
- § 3. Деформирование поверхностных слоев
- § 4. Техника безопасности

Глава 8. Изготовление деталей из пластмасс, керамики и металлокерамики

- § 1. Характеристика пластмасс, применяемых в самолетостроении
- § 2. Изготовление изделий из пластмасс
- § 3. Характеристика материалов для изготовления деталей из керамики и металлокерамики
- § 4. Изготовление деталей из керамики и металлокерамики

Глава 9. Процессы термической обработки

Глава 10. Технологическая оснастка для изготовления деталей

- § 1. Назначение и составные части специальных станочных приспособлений
- § 2. Базирование заготовки в приспособлении
- § 3. Зажимные элементы и механизмы
- § 4. Нормализация элементов станочных приспособлений
- § 5. Особенности приспособлений к станкам с программным управлением
- § 6. Методика проектирования специальных станочных приспособлений
- § 7. Методика проектирования заготовительно-штамповочной оснастки

Глава 11. Основы проектирования процессов изготовления деталей самолета

- § 1. Традиционные методы проектирования процессов изготовления деталей
- § 2. Современные тенденции в области проектирования процессов изготовления деталей
- § 3. Комплексный метод проектирования технологических процессов

§ 4. Примеры выбора структурных схем и детализации процессов изготовления деталей	263
§ 5. Применение комплексного метода проектирования при разработке АСПТП	267

Раздел третий

Сборочные процессы

Глава 12. Технологическая характеристика процессов сборки. Методы сборки и сборочные базы	270
§ 1. <u>Технологическая характеристика процессов сборки</u>	270
§ 2. <u>Методы сборки и сборочные базы</u>	275
§ 3. <u>Сборочные базы при сборке в приспособлениях</u>	280
§ 4. <u>Точность и технико-экономические показатели</u> различных методов базирования	286
§ 5. Требования к деталям, поступающим на сборку	287
§ 6. <u>Общая характеристика применяемых в самолетостроении соединений</u>	288
Глава 13. Сборка узлов и панелей клепаной конструкции	289
§ 1. Технологический процесс клепки и типы заклепок	289
§ 2. Образование отверстий и гнезд под головки потайных заклепок	291
§ 3. Клепка прессованием и ударом	297
§ 4. Влияние способов клепки на ресурс клепаных соединений	301
§ 5. Специальные заклепки	303
§ 6. Способы герметизации клепаных швов и изделий	305
§ 7. Способы контроля качества заклепочных соединений	310
§ 8. Техника безопасности	310
§ 9. Типовые примеры сборки узлов и панелей клепаной конструкции	311
Глава 14. Сборка узлов и панелей сварной и паяной конструкции	313
§ 1. Процессы сборки при помощи сварки плавлением	314
§ 2. Процессы сборки при сварке давлением	323
§ 3. Процессы пайки металлов и сплавов	329
§ 4. Контроль качества сварных и паяных соединений	333
§ 5. Технологические требования к конструкции сварных и паяных соединений	335
6. Техника безопасности при сварке и пайке	336
Глава 15. Сборка узлов и панелей клееной конструкции	337
§ 1. Характеристика клеев и соединений	337
§ 2. Основные операции при склеивании, оборудование, инструмент	338
§ 3. Процессы склеивания изделий из листового материала и профилей	341
§ 4. Изготовление конструкций с сотовым наполнителем	342
§ 5. Изготовление узлов панелей и отсеков с наполнителем в виде пенопласта	347
§ 6. Процессы выполнения комбинированных соединений	348
§ 7. Контроль качества клеевых соединений	349
Глава 16. Разъемные соединения и технология их выполнения	351
§ 1. <u>Виды и конструктивно-технологическая характеристика разъемных соединений</u>	351
§ 2. Технология выполнения высокоресурсных БС	352

<i>Глава 17.</i> Сборка отсеков и агрегатов металлической конструкции . . .	360
§ 1. Конструктивно-технологическая характеристика отсеков и агрегатов	360
§ 2. Сборка отсеков и агрегатов непанелированной конструкции . . .	364
§ 3. Сборка отсеков и агрегатов панелированной конструкции . . .	367
§ 4. Сборка агрегатов из отсеков	373
§ 5. Контроль обводов агрегатов	376
<i>Глава 18.</i> Изготовление отсеков и агрегатов из волокнистых композиционных материалов	379
§ 1. Характеристика и области применения композиционных материалов	379
§ 2. Способы изготовления отсеков и агрегатов	384
§ 3. Примеры изготовления изделий	390
§ 4. Оборудование, оснастка, инструмент	393
§ 5. Контроль качества и техника безопасности	395
<i>Глава 19.</i> Проектирование технологических процессов сборки	396
§ 1. Некоторые особенности проектирования технологических процессов сборки	396
§ 2. Выбор схемы базирования и состава оснащения сборки	399
§ 3. Определение последовательности выполнения сборочных операций	405
§ 4. Проектирование рабочих технологических процессов сборки	407
<i>Раздел четвертый</i>	
Монтаж систем управления и оборудования. Общая сборка.	
Подготовка производства	
<i>Глава 20.</i> Сборка агрегатов оборудования, монтаж и испытание систем управления и оборудования	413
§ 1. Механосборочные работы	413
§ 2. Общая характеристика монтажных работ	419
§ 3. Конструктивно-технологическая отработка монтажей бортового оборудования	423
§ 4. Монтаж, контроль и испытание бортового оборудования в агрегатных цехах	437
§ 5. Отработка на функционирование и ресурсные испытания бортового оборудования	454
<i>Глава 21.</i> Общая сборка и испытания самолетов (вертолетов)	459
§ 1. Процессы общей сборки	459
§ 2. Контрольные испытания бортового оборудования	470
§ 3. Летные испытания самолетов (вертолетов)	481
<i>Глава 22.</i> Технологическая подготовка серийного производства самолетов (вертолетов)	487
§ 1. Содержание, объем работ по технологической подготовке производства	487
§ 2. Значение и основные принципы организации технологической подготовки производства	489
§ 3. Пути совершенствования технологической подготовки производства	497
<i>Глава 23.</i> Технологичность конструкций самолетов и вертолетов	502
§ 1. Общие технологические требования к конструкциям самолетов и вертолетов	503

§ 2. Конструктивно-технологическое членение самолета на агрегаты, панели и узлы	504
§ 3. Технологичность деталей и систем бортового оборудования	507
§ 4. Количественная оценка технологичности конструкции	509
§ 5. Решение задач технологичности на различных стадиях проектирования	511
§ 6. Взаимосвязь технологичности и эффективности изделий	513
<i>Глава 24. Проектирование, монтаж и увязка сборочной и контрольно-испытательной оснастки</i>	<i>514</i>
§ 1. Назначение сборочных приспособлений и технологические требования к ним	514
§ 2. Классификация и конструкция типовых сборочных приспособлений	520
§ 3. Проектирование сборочных приспособлений	526
§ 4. Изготовление и монтаж сборочных приспособлений	530
§ 5. Взаимная увязка сборочных приспособлений	538
§ 6. Эксплуатация сборочных приспособлений и увязка технологической оснастки между ведущими заводами	541
Список литературы	544