

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра «технологии машиностроения»

176-2015

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для проведения самостоятельной работы
по дисциплине «Автоматизация производственных
процессов в машиностроении» для студентов
направления подготовки бакалавров 15.03.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
(профиль «Технология машиностроения»)
всех форм обучения
Часть 1



Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук О.Н. Кириллов,
канд. техн. наук В.А. Сай

УДК 621. 7.001.63 + 621.9.02/06

Методические указания для проведения самостоятельной работы по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Технология машиностроения» всех форм обучения. Ч.1 / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. О.Н. Кириллов, В.А. Сай. Воронеж, 2015. 35 с.

В методических указаниях рассмотрены цель, задачи, содержание и темы самостоятельной работы студентов, вопросы нормирования механической обработки заготовок, проектирования технологических процессов для автоматической сборки изделий и др.

Предназначены для студентов 4 курса.

Табл. 1. Ил. 9. Библиограф: 14 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.В. Кузовкин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. И.Т. Коптев

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства в машиностроении - комплексная конструкторско-технологическая задача создания новых технологий и техники, принципиально отличных от арсенала средств неавтоматизированного производства. Генеральное направление автоматизации производственных процессов (АПП) в машиностроении состоит в создании таких высокоэффективных технологических процессов и высокопроизводительных средств производства, применение которых было бы невозможно при непосредственном участии человека в управлении ими.

Настоящие методические указания содержат рекомендации по проектированию технологических процессов сборки изделий и изготовления деталей в автоматизированном производстве.

Самостоятельная работа по АПП выполняется во время изучения дисциплины и ставит своей основной целью закрепление и приобретение специальных знаний и навыков, необходимых, для проектирования высокоэффективных технологических процессов автоматизированного машиностроения и прогрессивных средств их автоматизации.

1. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, ТЕМАТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Цель самостоятельной работы по автоматизации производственных процессов в машиностроении – приобретение специальных умений и навыков проектирования высокоэффективных технологических процессов автоматизированного машиностроения и прогрессивных высокопроизводительных средств автоматизации, а также закрепление теоретических знаний, полученных бакалаврами в процессе изучения дисциплины «Автоматизация производственных процессов в машиностроении».

Во время самостоятельной работы студенты закрепляют теоретически полученные знания по следующим направлениям:

- развитие навыков проектирования прогрессивных сборочных ТП и ТП изготовления деталей, в условиях автоматизированного, производства и навыков проектно- конструкторской работы в области разработки эффективных систем и средств автоматизации, схем управления работой автоматизированных систем;
- изучение и практическое применение методик технологических и технических обоснований инженерных решений;
- освоение принципов и методов системного, анализа научно-технической литературы, патентной и справочной информации.

Желательно формулировать тематику самостоятельной работы студентов на основании предложений промышленных предприятий.

Тематика самостоятельной работы должна соответствовать основным разделам учебных программ дисциплин «Автоматизация производственных процессов в машиностроении».

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ ЗАНЯТИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

После разбора в группе, для закрепления пройденного материала на самостоятельную работу могут выноситься следующие задания: анализ служебного назначения и технической характеристики заданного объекта производства, расчет такта его выпуска (для условий массового, крупносерийного и серийного производства) или партии запуска (при групповой форме организации производства).

2.1. Исходная информация для самостоятельной работы

Исходная информация для выполнения самостоятельной работы подразделяется, в соответствии с ГОСТ 14.301-83, на базовую руководящую и справочную.

Базовая информация включает: данные о годовой программе и сроках выпуска объектов производства по неизменной конструкторской документации, содержащиеся в задании на практическую работу; данные, содержащиеся в конструкторской документации на объект производства; сведения о действующем ТП изготовления объекта производства и средствах его технологического оснащения.

Руководящая информация включает: данные, содержащиеся в стандартах всех уровней, устанавливающих требования к ТП и методам управления ими; информацию, содержащуюся в стандартах на оборудование и средства автоматизации рекомендациях по выбору режимов обработки, расчету норм времени, технико-экономических показателей и т.д. /8,9/.

Справочная информация содержит данные, имеющиеся в каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок средств автоматизации технологических процессов, прогрессивных средств технологического оснащения, компоновок и планировок автоматических линий и участков. Обширная справочная информация содержится также в учебниках, учебных пособиях, методических указаниях, монографиях и перио-

дических изданиях /3, 10, 11/. Список литературы, рекомендуемой для выполнения практической работы, приведен в настоящем пособии.

2.2. Служебное назначение и техническая характеристика объекта производства

Объектами производства для рассмотрения в самостоятельной работе могут являться детали или сборочные единицы.

Описание служебного назначения детали составляют в соответствии с функциями, которые данная деталь выполняет в изделии.

Описание служебного назначения сборочной единицы (узла) составляют после тщательного изучения ее конструкции и функционирования её основных деталей, действующих нагрузок, характера соединений и закрепления деталей, позволяющих дать полное представление о порядке работы сборочной единицы и взаимодействии ее основных деталей. При отсутствии отдельных данных на сборочном чертеже, например, посадок, размеров и допусков, выдерживаемых при сборке, студент должен на основании проведения необходимых обоснований и расчетов назначить их самостоятельно /10, 11/.

2.3. Расчет такта выпуска объекта производства

В задании на выполнение самостоятельной работы указывается форма организации производства, которая может быть поточной или групповой, а также годовая программа выпуска объектов производства с предполагаемым сроком выпуска изделий по неизменной конструкторской документации.

Ритмичность и непрерывность работы автоматизированного оборудования в условиях крупносерийного и массового производств определяются тактом выпуска объектов производства.

Длительность такта зависит от типа автоматизированного оборудования:

для отдельной единицы автоматизированного оборудования

$$T_T = \Phi_{\text{ДО}} \cdot 60 \cdot K_3 / \Pi \cdot (1 + \alpha);$$

для однономенклатурной автоматической линии

$$T_T = \Phi_{\text{ДА}} \cdot 60 \cdot K_3 / \Pi \cdot (1 + \alpha);$$

для многономенклатурной автоматической линии

$$T_T = \Phi_{\text{ДЛ}} \cdot 60 \cdot K_3 / \sum_{i=1}^n \Pi \cdot (1 + \alpha_i);$$

где $\Phi_{\text{ДО}}$, $\Phi_{\text{ДЛ}}$ – действительный годовой фонд времени работы единицы оборудования и автоматической линии соответственно, ч; $K_3 = 0,75 \dots 0,95$ – планируемый нормативный коэффициент загрузки оборудования, учитывающий простои по организационно-техническим причинам и регламентированные перерывы на отдых (для автоматических линий $K_3 = 0,75 \dots 0,95$); Π – годовая программа выпуска объектов производства, шт; α (α_i) – коэффициент, учитывающий возможные потери в связи с выпуском объектов производства, не соответствующих техническим требованиям ($\alpha = 0 \dots 0,05$); n – число i -тых объектов производства, подлежащих выпуску в год, шт.; i – порядковый номер объекта производства.

При проектировании ТП в практической работе, как правило, принимают двухсменный режим работы. Действительный годовой фонд времени работы отдельных единиц автоматизированного оборудования и автоматических линий при двухсменном режиме работы можно определить по табл. 2.3 учебного пособия /24/.

При групповой форме организации производства, характеризующейся периодическим запуском объектов производства парными, рассчитывают размер партии запуска Π_3 , исходя из суточного задания Π_c /8/:

$$\Pi_3 = \Pi_c \cdot \alpha$$

где $\alpha = 3, 6, 12, 24$ - периодичность запуска объектов производства в днях.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ НА САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЯХ

Для закрепления материала целесообразно ограничиться разработкой варианта выполнения отдельных операций или всего ТП изготовления детали или сборки объекта производства, Отличного от рассмотренного на групповых занятиях. Он должен быть логически обоснован и выбран на основе анализа современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники, действующих типовых или групповых ТП изготовления аналогичных объектов производства, которые, при наличии всей необходимой информации, могут быть приняты за основу при разработке рабочего варианта единичного ТП.

После разработки ТП оформляют технологическую документацию в соответствии с требованиями ЕСТД. Состав технологических документов, используемых при разработке ТП сборки, приведен в табл. 2.14 учебного пособия /8/, при разработке ТП изготовления детали - в табл. 2.22 /8/. Требования к оформлению технологической документации на ТП сборки и механической обработки рассмотрены в подпараграфах 2.6.7 и 2.1 АО пособия /8/. В связи с необходимостью построения циклограммы работы автоматизированного оборудования целесообразно разрабатывать на все операции ТП карты эскизов. Примеры оформления карт эскизов приведены в приложениях 34...35 издания /8/. Для построения циклограммы работы автоматизированного оборудования необходимо пронормировать все операции (переходы) ТП и определить для каждой операции (перехода) основное время T_o , вспомогательное время T_v , величину собственных внецикловых потерь времени $\sum T_{ei}$ при работе автоматизированного оборудования. Результаты нормирования сводят в таблицу, оформленную по форме табл. 1.

Таблица 1

Пример нормирования ТП механической обработки заготовки на автоматической линии

Номер операции	Номер станции (перехода)	Наименование операции (станции)	Основное время T_0 , мин	Вспомогательное время T_v , мин	Собственные внецикловые потери времени $\sum T_{ei}$, мин
05		Автоматно-линейная			
	1	Фрезерно-центровальная	0,24	0,02	0,02
	2	Токарная	0,35	0,04	0,03
	3	Токарная	0,18	0,02	0,01
	4	Фрезерная	0,42	0,04	0,03
	5	Кругло-шлифовальная	0,21	0,02	0,02

Циклограмму работы (Рис.1) составляют для каждой единицы автоматизированного оборудования и показывают на ней степень загруженности оборудования полезной работой во времени. С помощью циклограммы выявляют лимитирующую позицию или станцию. Время перемещения отдельных узлов и механизмов автоматизированного оборудования указывают на циклограмме в определенном масштабе прямоугольниками одинаковой высоты. При разработке циклограммы необходимо, по возможности, уменьшать время цикла за счет совмещения во времени и сокращения продолжительности активных перемещений путем увеличения скоростей перемещения рабочих органов станка, например, силовых головок, сокращения длин ходов и числа активных перемещений. К активным перемещениям относятся: быстрый подвод и отвод и рабочая

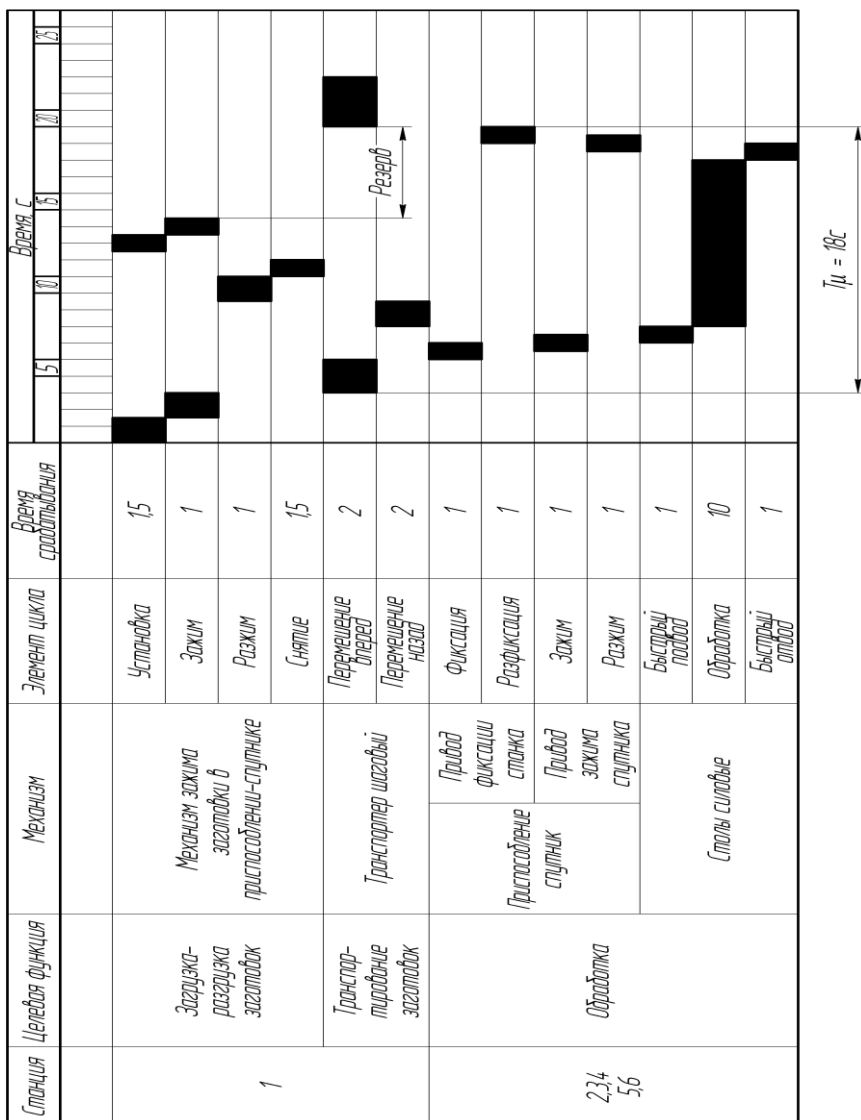


Рис. 1. Фрагмент типа циклограммы работы АЛ

подача рабочих органов станка, установка, зажим, разжим и снятие объектов производства, перемещения объектов производства между позициями или станциями автоматизированно-

го оборудования. Желательно, чтобы в циклограмме имелся некоторый запас времени между окончанием совмещенных (происходящих одновременно с активными) и активных движений в цикле. Такой запас - резерв позволяет компенсировать небольшие перерывы в работе какого-либо механизма без увеличения времени цикла.

3.1. Проектирование технологического процесса автоматической сборки

Автоматическая сборка представляет собой ТП, в котором все основные и вспомогательные работы по сборке изделия, а также транспортировка собираемого изделия и входящих в его состав деталей в процессе сборки, выполняются без непосредственного участия человека. Разработке ТП автоматической сборки в курсовой работе должен предшествовать анализ процесса автоматического соединения деталей выявление функций сборочной машины и разработка требований, которым она должна соответствовать. Проведение такого анализа, детальное описание процесса автоматической сборки и определение требований, которые должны быть предъявлены к средствам автоматизации, являются главными задачами при разработке ТП автоматической сборки курсовой работе.

3.1.1. Особенности разработки технологического процесса автоматической сборки

При проектировании ТП автоматической сборки в курсовой работе следует учитывать ряд особенностей /1/:

- при автоматизации сборочных процессов не всегда возможно эффективно автоматизировать все технологически операции (ТО) и переходы;
- ограниченность концентрации переходов на одной сборочной позиции ввиду значительной площади, занимаемой загрузочно-разгрузочными устройствами;

– недостаточное количество стандартизованных или нормализованных технических средств для реализации отдельных переходов при автоматической сборке;

– большое разнообразие видов собираемых изделий, что приводит во многих случаях к необходимости разработки узкоспециализированных сборочных автоматов и автоматических линий;

– необходимость автоматической ориентации, транспортирования, позиционирования собираемых деталей с высокой скоростью и точностью, что нередко приводит к чрезмерному усложнению и удорожанию сборочного оборудования;

– большое количество элементов, входящих в одно изделие и изготавливаемых одновременно, в различных цехах и на различных участках, нарушение ритмичности их доставки приводит к нарушениям в сборочном процессе.

Автоматизация сборочных процессов предполагает наличие сложного комплекса автоматически действующих устройств, надежно выполняющих все переходы сборочных операций:

1) бункерные загрузочные устройства для деталей простой формы; кассеты или магазины, загружаемые более сложными по конфигурации деталями в предварительно ориентированном положении; 2) накопители, соединяемые с загрузочными устройствами лотками открытого или закрытого типа; 3) отсекатели; 4) питатели; 5) устройства для соединения деталей путем запрессовки, развальцовки или свинчивания; 6) устройства выполняющие специальные функции (обдув сжатым воздухом, смазка и др.); 7) сборочные приспособления и инструменты; 8) устройства, контролирующие правильность выполнения операций; 9) механизмы для перемещения собранного изделия в тару или для передачи его на следующую позицию сборки без потери ориентации.

ТП автоматической сборки включает следующие основные 1) подготовка базовых и комплектующих деталей (промывка, контроль линейных и угловых размеров); 2) загрузка базовых и комплектующих деталей в бункерные, кассетные

или магазинные загрузочные устройства; 3) захват, отсекация и подача базовой и комплектующих деталей в ориентирующие и базирующие устройства сборочных приспособлений инструментов; 4) относительная ориентация базовой и комплектующих деталей на сборочной позиции; 5) соединение комплектующих деталей с базовой деталью и их закрепление, т.е. осуществление собственно процесса сборки; 6) контроль требуемой точности относительного положения базовой и комплектующих деталей; 7) освобождение сборочной позиции и транспортирование готовой сборочной единицы; 8) выполнение послесборочных операций и переходов.

3.1.2. Последовательность разработки технологического процесса автоматической сборки

Проектирование ТП автоматической сборки в курсовой работе включает комплекс взаимосвязанных и выполняемых определенной последовательности этапов /12/:

- 1) сбор и анализ исходных данных;
- 2) анализ технологичности конструкции изделия и, при необходимости, принятие мер к ее улучшению (отработка конструкции изделия на технологичность);
- 3) выбор формы организации ТП сборки изделия и установление методов его сборки;
- 4) составление технологических схем общей и узловой сборки изделий;
- 5) расчет такта выпуска изделий;
- 6) разработка маршрутного ТП сборки;
- 7) уточнение операций общей и узловой сборки;
- 8) выбор типа автоматического сборочного оборудования и определение параметров сборочных систем по позициям;
- 9) уточнение содержания и определение оптимальных условий выполнения сборочных операций на основе технических расчетов и исследований, в том числе оценка собираемости сопрягаемых деталей;
- 10) выбор типа автоматических загрузочно-разгрузочных и транспортирующих устройств, управляющей системы и разработка оптимальной компоновки сборочного комплекса;
- 11) разработка технического задания на проектирование специаль-

ного автоматического сборочного оборудования; 11) определение числа и квалификации обслуживающего персонала; 12) расчет необходимой площади для размещения сборочного комплекса; 13) расчет экономической эффективности автоматизации сборочных работ; 14) оформление технологической документации.

Рассмотрим содержание некоторых из указанных этапов.

Исходными данными для проектирования ТП автоматической сборки являются: сборочный чертеж; технические условия на приемку изделия; годовая производственная программа; продолжительность выпуска изделия по неизменяемым чертежам. Эти исходные данные принимают за основу, если ТП для вновь проектируемых участков, цехов или заводов. При разработке ТП для действующих или реконструируемых заводов дополнительно нужны сведения о наличии оборудования, которое может быть использовано полностью или после частичной модернизации. В частных случаях может быть оговорено задание на автоматизацию лишь отдельных операций сборки.

Для проектирования используют справочные и нормативные материалы: рекомендации по улучшению технологичности конструкции изделий для автоматической сборки, каталоги, паспорта; имеющегося оборудования для автоматической сборки и его основных исполнительных устройств, альбомы сборочных приспособлений и инструментов, руководящие технические материалы по проектированию и расчету режимов работы сборочного оборудования и выполнению , операций сборки известные примеры автоматизации операций сборки аналогичных изделий.

Оценку технологичности конструкции изделий необходимо выполнять как на начальной стадии проектирования, так и после - окончательной разработки ТП автоматической сборки. В настоящее время еще не разработаны надежные критерии оценки технологичности изделия в целом и технологичности

конструкций деталей применительно к условиям автоматической сборки.

Рассмотрим некоторые рекомендации по обеспечению технологичности конструкции отдельных деталей изделия, предназначенных для автоматической сборки:

1. Детали, входящие в изделие, должны иметь простые и симметричные формы: цилиндр, трубка, прямоугольная призма и т.п. (рис. 2, а). Это упрощает ориентацию деталей при выдаче их из загрузочных устройств на сборочную позицию.

Детали более сложной конфигурации должны иметь явно выраженную базовую поверхность и явно выраженные места (поверхности сопряжения) для автоматического ориентирования и подачи на сборочную позицию.

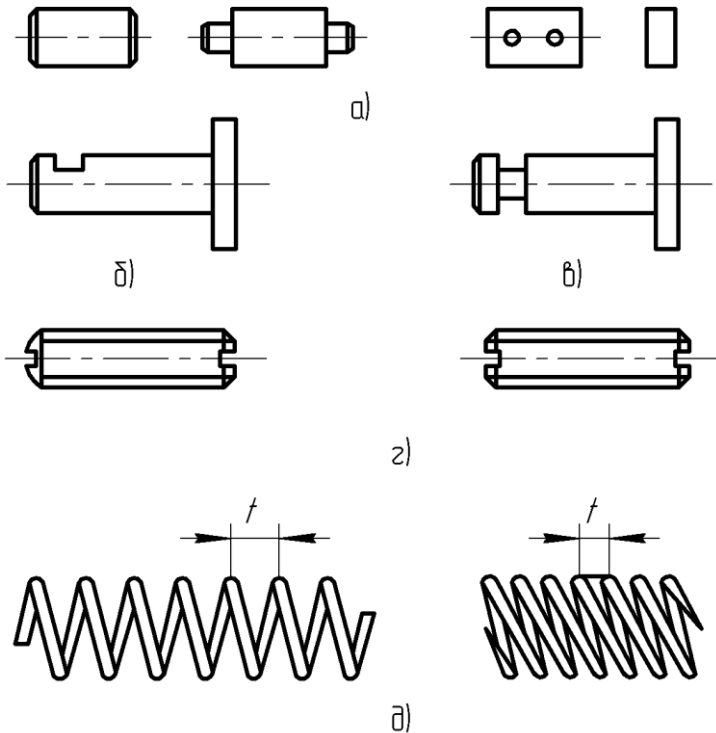


Рис. 2. Пример технологичных и нетехнологичных деталей для автоматической сборки

Если детали имеют оси симметрии и асимметрично расположенные конструктивные элементы (отверстия, выступы, лыски, канавки и др. (рис. 2, б, в), то в целях облегчения их ориентации, следует придавать им полную симметрию за счет введения дополнительных ложных симметричных конструктивных элементов (рис. 2, г) /1/.

Для упрощения ориентации асимметричных деталей со слабо выраженными внешними признаками (отверстия одинакового диаметра, валики симметричной конфигурации, но с различными допусками на диаметральные размеры и т.д.) их конструкцию необходимо изменить, предусматривая уступы, срезы, дополнительные отверстия и другие элементы, идя при этом на некоторое увеличение трудоемкости механической обработки. Примером такого решения может служить стопорные винты, у которого шлиц выполнен на обоих торцах (рис. 2, г). /1/

Допуски на размеры деталей должны обеспечивать возможность осуществления автоматической сборки методами полной или неполной взаимозаменяемости, так как сборка с пригонкой усложняет ТП и конструкцию сборочного автоматического оборудования, требует введения дополнительных контрольных устройств и механизмов пригонки.

Конструкция деталей должна быть такой, чтобы при выдаче из автоматических загрузочных устройств они взаимно не сцеплялись в виде двух или многозвенных цепочек. Образование последних приводит к прекращению выдачи деталей и остановке автоматических сборочных систем. Для этого, например, в пружинных шайбах, замковых и поршневых кольцах, втулках получаемых из ленты, ширина паза не должна превышать их толщину или паз должен быть выполнен со скосами, либо ступенчатым (рис. 3). У пружин, во избежание их сцепления, торцы следует заправлять и шлифовать. При этом шаг навивки должен быть меньше двух толщин проволоки, или пружина должна иметь плотную навивку у торцев и в средней части. Конечные витки пружин сжатия должны располагаться параллельно друг друга (рис. 2, д).

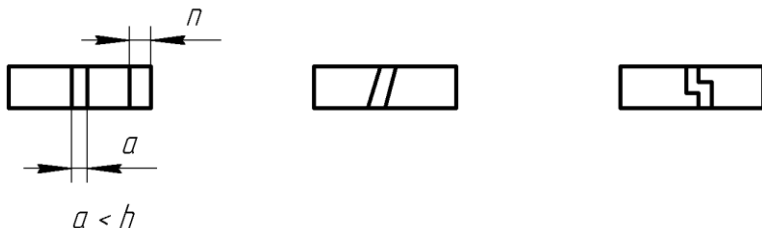


Рис. 3. Примеры технологичных деталей для автоматической сборки

2. Детали, сопрягаемые в осевом направлении с зазорами и натягами, на кромках сопрягаемых поверхностей должны иметь фаски или направляющие элементы, форма и размер которых зависят от точности изготовления деталей и условий сборки. На охватываемой поверхности рекомендуется делать скругленную фаску $1/1$. Наличие фасок обеспечивает лучшее направление сопрягаемых поверхностей на сборочной позиции автомата. Фаски целесообразно предусматривать на обеих сопрягаемых поверхностях. Ориентацию, например, шпилек можно упростить с помощью цилиндрического выступа (рис. 4)



Рис. 4. Примеры отработки конструкции шпильки на технологичность:

а, б – соответственно до и после обработки

Конструкция базовых деталей должна обеспечивать их простую и надежную установку и закрепление на рабочих позициях сборочного автомата. Их базовые поверхности следует выбирать так, чтобы по возможности, соблюдались принципы постоянства и совмещения баз.

При корректировке конструкции сборочных единиц следует стремиться к использованию в максимальной степени унифицированных, стандартных и нормализованных деталей. Это позволит в большей мере использовать при сборке однотипные исполнительные и вспомогательные устройства автоматов.

К конструкции собираемых сборочных единиц (комплектов узлов) предъявляют следующие требования с точки зрения возможности автоматизации их сборки:

Конструкция сборочной единицы должна обеспечить возможность последовательного соединения всех входящих в нее деталей. Это позволяет воспроизводить ТП на автоматическом оборудовании без переориентации базовых и комплектующих деталей, что в значительной мере упрощает конструкцию сборочного автомата и автоматических загрузочных устройств.

Конструкцию сборочной единицы должна обеспечивать возможность подачи деталей по прямолинейным траекториями и должна быть удобной для подвода и отвода сборочного инструмента. При этом упрощаются исполнительные и вспомогательные механизмы сборочных автоматов.

Сложные сборочные единицы, состоящие из большого числа деталей должны быть сконструированы по блочному принципу, т.е. сборочная единица должна состоять из отдельных законченных сборочных комплектов или узлов, в которые входит сравнительно малое число простых по конфигурации деталей (не более (15-18) шт.). Лучшими считаются комплекты (узлы), состоящие из 4-12 деталей. Увеличение числа деталей приводит к снижению надежности работы сборочного автоматического оборудования /1/.

Сокращение числа деталей в сборочной единице за счет перехода к моноблочным конструкциям, т.е. к таким конструкциям, в которых отдельные детали объединяются в одну более сложную деталь (рис. 5).

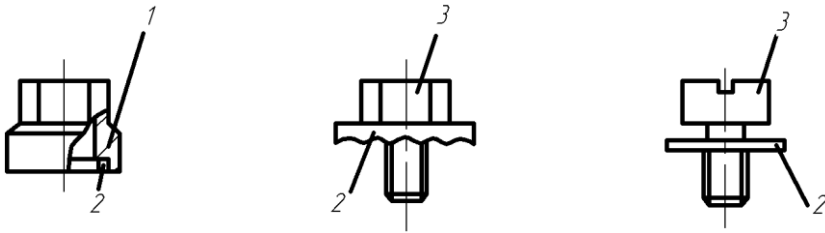


Рис. 5. Примеры моноблочных конструкций

3. При разработке конструкции сборочной единицы следует избегать таких соединений, автоматизация которых трудноосуществима, например заклепками, скручиванием проволокой, обмоткой бумажной или металлической лентой, замыканием разжимными или пружинными кольцами, установкой пружин кручения или растяжения, штифтовкой, заливкой эпоксидным клеем. Нежелательно соединение деталей свинчиванием. Для закрепления соединяемых деталей целесообразно использовать пластическую деформацию точечную и холодную сварку, припайку предварительно луженых деталей, склеивание, сварку.

Форма организации технологического процесса автоматической сборки может быть поточной и групповой. К основным факторам, определяющим форму организации ТП сборки, относят виды собираемых объектов; возможность их группирования по общности конструкторско-технологических признаков; тип производства сборочных единиц и их составных частей; программу выпуска каждого изделия и календарные сроки выпуска; длительность процесса сборки и наладка средств технологического оснащения; потребное количество оборудования и коэффициенты его загрузки; показатель относительной трудоемкости. Дополнительными факторами, влияющими на выбор формы организации ТП сборки, являются: уровень специализации производства; прямоточность; параллельность и непрерывность процессов сборки; синхронность выполнения операций; уровень автоматизации; точность сборки и др.

На самостоятельную работу форму организации производства, определяет преподаватель. Студент должен обосновать порядок выполнения сборочных операций, перемещения сборочной единицы в ходе выполнения процесса сборки, уровень автоматизации сборки, метод достижения заданной точности замыкающего звена.

При определении последовательности сборки предпочтение следует отдавать последовательной сборке, затем параллельной и последовательно-параллельной в порядке убывания предпочтительности; при выборе характера перемещения объекта сборки – подвижной с периодическим перемещением собираемого объекта; при выборе уровня автоматизации и сборки – автоматической; затем автоматизированной при выборе метода достижения заданной точности изделия или его сборочной единицы – сборке по методу полной взаимозаменяемости, затем сборке с неполной и групповой взаимозаменяемостью, сборке с регулированием и пригонкой (в порядке убывания).

В самостоятельной работе студенту выбор наиболее рационального метода достижения заданной точности изделия или его сборочной единицы рекомендуется выполнять на основе размерного анализа конструкции, базирующегося на теории размерных цепей, в соответствии с методикой, изложенной в работа [8]. На основе размерного анализа делают заключение о принципиальной возможности автоматической сборки изделия и при необходимости производят корректировку допусков на размеры составляющих звеньев размерной цепи.

Составление схем общей и узловой сборки изделия предшествует разработке маршрутного ТП процесса его сборки. Схемы общей и узловой сборки строят на основе сборочного чертежа изделия, они в наглядной форме отражают структуру и последовательность сборки изделия или его сборочной единицы. Схемы служат основой проектирования ТП автоматической сборки и позволяют оценить конструкцию с технологической точки зрения. При разработке схем общей и узловой сборки следует учитывать рекомендации, приведенные в рабо-

тах /8/, где даны и примеры оформления схем общей и узловой сборки изделия.

Маршрут общей и узловой сборки устанавливают по разработанным ранее технологическим схемам сборки. Содержание работ, выполняемых последовательно и одновременно на отдельных позициях, должно быть таким, чтобы их длительность не превышала такта выпуска. При построении маршрута общей и узловой сборки не должны быть упущены из вида элементы работ вспомогательного характера: контроль наличия и правильность положения деталей, контроль правильности сопряжения элементов собираемого изделия, очистка собираемых изделий и установочных приспособлений воздухом или другими средствами и др. /2/.

Технологические операции автоматической сборки разрабатывают с учетом рекомендаций, изложенных в работах /8/. По результатам проектирования разрабатывают маршрутно-операционную и операционные карты. Примеры заполнения технологических карт даны в приложениях /8/. Здесь же рассчитывают коэффициент загрузки позиции сборочной системы:

$$K_3 = \frac{T_{шт}}{T_T}$$

где $T_{шт}$ – штучное время выполнения сборочной операции, мин; T_T – такт выпуска изделий, мин.

Для выравнивания загрузки отдельных позиций сборочной системы строят соответствующий график (рис. 6).

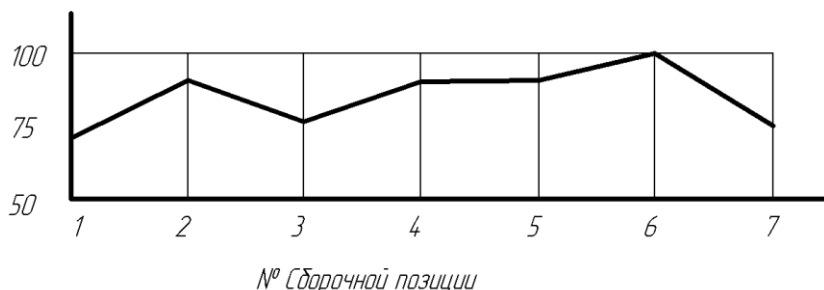


Рис. 6. График загрузки сборочных позиций

Тип автоматического (автоматизированного) оборудования устанавливают на основе намеченного содержания сборочных операций. Количество сборочных позиций определяют в зависимости от количества переходов сборочных операций /1/.

При сборке с периодическим движением объекта число сборочных позиций q можно рассчитать по следующей формуле:

$$q = \frac{T_{сб}}{T_{Т,j}}$$

где $T_{сб}$ – трудоемкость сборки всего изделия, мин;
 j – число параллельных потоков.

$$T_{сб} = \sum_{i=1}^m T_{штi}$$

где m – число операций, необходимых для сборки изделия или сборочной единицы.

Штучное время на операцию рассчитывают по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_b = T_{оп}$$

Оперативное время $T_{оп}$ определяют по нормативам, в котором оно приводится без деления на основное и вспомогательное время. На переходы и приемы, непосредственно не связанные с сопряжением деталей и сборочных единиц, дается только T_b , например, вспомогательное время на установку, снятие, повороты базовых и комплектующих деталей и сборочных единиц, промывку, продувку воздухом и т.д.

Рассчитываем $T_{оп}$ заносят в технологическую карту. По результатам нормирования операций ТП строят циклограммы сборки. При этом выявляют возможность совмещения переходов сборки или приемов во времени. Это позволит упростить схему сборочного автомата, уменьшить количество его позиций, сократить длительность технологического цикла сборки изделия.

На завершающем этапе проектирования ТП сборки студент разрабатывает компоновочную схему сборочного автомата или сборочной АЛ.

3.1.3. Размерный анализ технологического процесса автоматической сборки

Основные задачи размерного анализа ТП сборки заключаются в следующем: выявление размерных связей на всех этапах осуществления автоматического сборочного процесса; определении требований к собираемым деталям, к точности работы используемых сборочных средств. По результатам размерного анализа формулируют требования к точности размеров и расположения сопрягаемых поверхностей деталей, а также требования к конструкции сборочных систем.

Для осуществления автоматической сборки погрешности относительного положения деталей перед сборкой должны быть меньше предельно допустимых значений, в противном случае при сближении собираемых деталей нарушится нормальное протекание сборочного процесса.

В общем случае условие собираемости может быть представлено в следующем виде /1/:

$$1. \vec{\Delta\Sigma} \leq \Delta_{\max o}; \vec{\gamma} \leq \vec{\gamma}_o$$

$$2. \vec{\Delta\Sigma} \leq \Delta_{\max k}; \vec{\gamma} \leq \vec{\gamma}_k$$

где $\vec{\Delta\Sigma}$ — относительного расположения сопрягаемых поверхностей собираемых деталей при выбранной схеме базирования, мм; $\vec{\gamma}$ — перекос осей сопрягаемых поверхностей деталей, при принятой схеме базирования, рад; $\Delta_{\max o}$ — предельная величина допуска относительного расположения по условию собираемости деталей перед началом сборки, мм; $\vec{\gamma}_o$ — перекос осей сопрягаемых поверхностей деталей, допустимый по условиям собираемости перед началом сборки, рад.; $\Delta_{\max k}$ — предельная величина погрешности относительного расположения собранных деталей, мм ; $\vec{\gamma}_k$ — перекос осей сопрягаемых поверхностей деталей, допустимый после окончания сборки, рад.

При выполнении условия 1 возможно осуществление сборки, а при выполнении условия 2 - получение правильно собранного изделия.

Оценку собираемости сопрягаемых деталей рекомендуется проводить на основе выявления и расчета сборочных размерных цепей в следующей последовательности: 1) представить процесс сборки изделия эскизами и вычислить предельно допустимые отклонения в положении сопрягаемых деталей; 2) построить размерные цепи, в которых допустимые отклонения являются исходными звеньями; 3) составить уравнение размерных цепей и определить возможные погрешности составляющих звеньев; 4) выбрать метод достижения точности замыкающего звена размерной цепи с учетом его реализации в автоматическом производстве; 5) произвести расчет допусков составляющих звеньев и выбрать методы и средства автоматической реализации процесса с учетом требуемой точности составляющих звеньев размерной цепи.

Методику размерного анализа автоматического сборочного ТП рассмотрим на примере сборки валика и втулки промышленным роботом (ПР). Требуемая точность замыкающего звена - отклонение от соосности валика и отверстия во втулке - достигается методом полной взаимозаменяемости. ПР выполняет сборку валика 1 и втулки 2 (рис. 7), показанных на рис. 8.

Максимально допустимое отклонение от соосности определяется по формуле:

для соединений с зазором

$$\Delta_{\max} = \frac{1}{2} \cdot (D_{\min} - d_{\max}) + C_B + C_O$$

где D_{\min} – минимальный диаметр отверстия во втулке, мм; d_{\max} – максимальный диаметр валика, мм; C_B и C_O - ширина фаски соответственно валика и втулки, мм.

для соединений с натягом

$$\Delta_{\max} = C_B + C_O$$

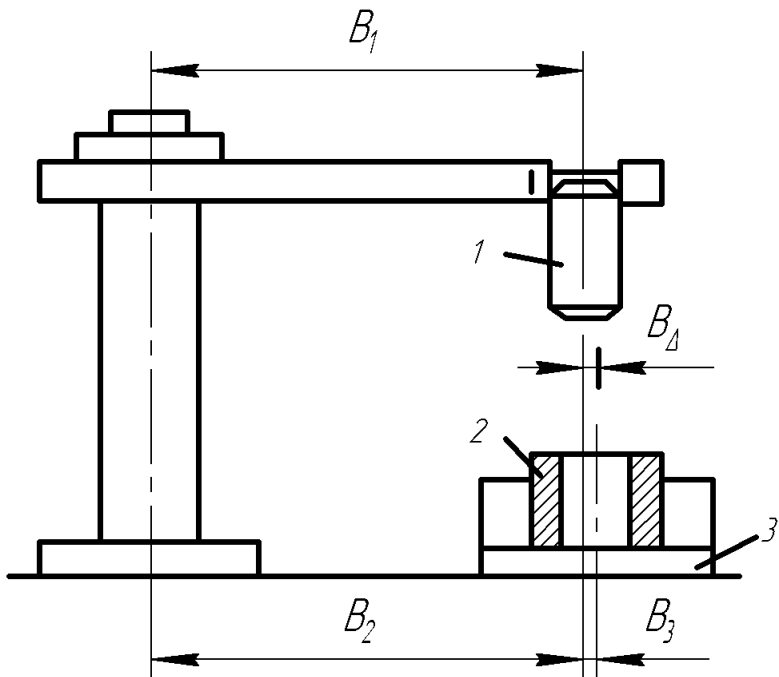


Рис. 7. Размерные связи при автоматической установке валиков во втулку ПР:

- 1 – валик; 2 – втулка; 3 – приспособление;
4 – промышленный робот

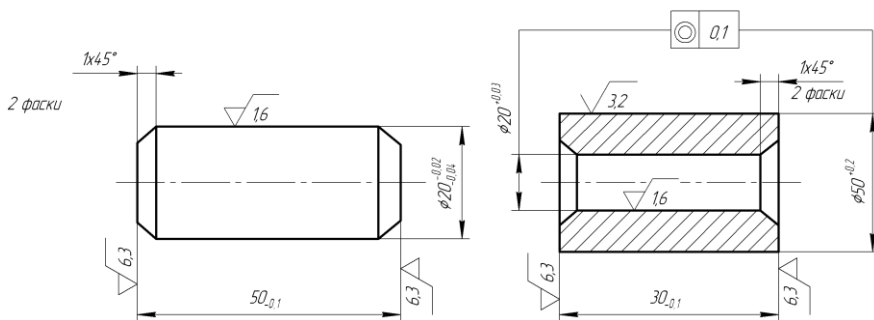


Рис. 8. Чертеж валика и втулки

Помимо смещения возможен перекос осей собираемых деталей (рис. 9), который может быть определен следующим образом /64/:

для соединений с зазором

$$\gamma = \arctg D - \frac{d}{z - C_0}$$

для соединений с натягом

$$\gamma = \arcsin \frac{C_{\max}}{d}$$

где D – номинальный диаметр отверстия во втулке, мм;
 d – номинальный диаметр вала, мм; z – заглубления, мм;
 C_{\max} – большая ширина фаски из C_0 и C_B , мм.

Смещение осей валика и отверстия во втулке определяется размерной цепью В, в которой три составляющих звена: В 1 – размер позиционирования захвата ПР, мм; В 2 – размер координирующий положение приспособления относительно ПР, В 3 – отклонение от соосности отверстия и наружной поверхности втулки. В связи с тем, что точность замыкающего звена В Δ обеспечивается методом полной взаимозаменяемости, уравнение допусков запишем в виде:

$$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3$$

где T_{Δ} – допуск замыкающего звена В Δ, мм; T_1, T_2, T_3 – допуски составляющих звеньев, соответственно, В 1, В 2, В 3, мм.

В соответствии с чертежом (см. рис. 8), если не использовать фаски деталей $T_{\Delta} = D_{\min} - d_{\max} = 0,02$ мм, $T_2 = 0,01$ мм – допуск на тепловые деформации, $T_3 = 0,2$ мм – допуск соосности оси отверстия и наружной поверхности втулки.

В этом случае получим: $0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01 + 0,1$, где T_1 – допуск позиционирования ПР. Из приведенного уравнения ясно что ни при каком значении T_1 нельзя обеспечить автоматическую сборку данного изделия. Обеспечить собираемость деталей в данном примере можно за счет:

ужесточения требований к соосности отверстия и наружной поверхности втулки. Это удорожает изготовление втулки, но позволяет автоматизировать сборку;

изменения базирования втулки в приспособлении. Втулку можно базировать не по наружной, а по внутренней поверхности, например, с помощью подпружиненного конуса. В этом случае из размерной цепи исключается звено В₃ уравнение допусков принимает вид: $0,02 = T_1 + 0,01$. Тогда, $T_1 = 0,01$ мм. Следовательно, если использовать ПР с точностью позиционирования $+0,005$ мм, то автоматическая сборка этих деталей возможна.

При использовании фасок

$$T_d = 2\Delta_{\max} = 2 \left[\frac{1}{2} (D_{\min} - \Delta_{\max}) + C_B + C_0 \right] =$$

$$= 2 \left[\frac{1}{2} (20,00 - 19,98) + 1,00 + 1,00 \right] = 4,02 \text{ мм}$$

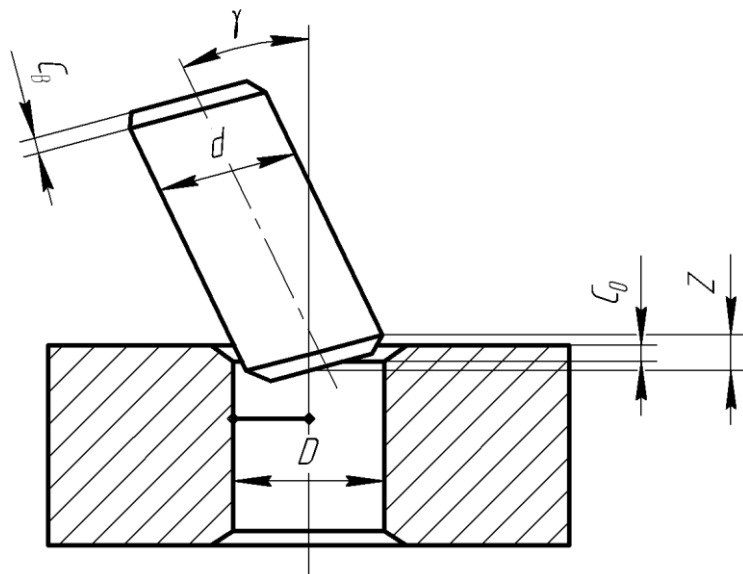


Рис. 9. Схема для определения минимального допустимого поворота осей вала и отверстия во втулке перед сборкой

Уравнение допусков примет вид: $4,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$, откуда $T_1 = 3,81$ мм. При использовании фасок, значительно увеличивающих допустимое отклонение от соосности сопрягаемых деталей (с 0,02 мм до 4,02 мм), можно использовать ПР с погрешностью позиционирования $\pm 1,9$ мм. Однако необходимо помнить, что из-за использования фасок при сборке, по крайней мере одна из двух собираемых деталей должна иметь возможность перемещаться в горизонтальной плоскости на расстояние, равное ширине фасок, т.е. в данном случае на 2 мм. С этой целью необходимо предусматривать плавающее крепление втулки в базирующем приспособлении.

Аналогичным образом необходимо рассмотреть способы обеспечения перекося осей валика и отверстия во втулке (рис. 9) в пределах поля допуска на этот параметр. Может потребоваться такое крепление валика в захвате, которое бы обеспечило возможность не только радиального смещения валика при установке во втулку, но и поворота его оси в двух вертикальных плоскостях.

3.1.4 Расчет производительности автоматической сборочной системы

Для выборочного варианта структурно-компоновочного решения автоматической сборочной системы рассчитывают фактическую производительность:

$$Q_{\phi} = \frac{1}{T_0 + T_B + \sum T_{ni}}$$

T_0 и T_B определяют по результатам нормирования ТП сборки. Внецикловые потери времени $\sum T_{ni}$ рассчитывают по следующей формуле:

$$\sum T_{ni} = T_{eh} + T_{ет} + T_{пг} + T_{нб} + T_{от}$$

где T_{eh} - внецикловые потери времени по вине h -й позиции (станции) сборочной системы ($h = 1, 2, \dots, m$); $T_{ет}$ - внецикловые потери времени по вине транспортной системы; $T_{пг}$ - времени из-за невозможности сборки при наличии годных де-

талей; $T_{нб}$ – потери времени из-за невозможности сборки при наличии бракованных деталей; $T_{от}$ – потери времени по организационно-техническим причинам.

T_{eh} и $T_{ет}$, можно определить на основе данных, собранных опытно-статистическим путем при эксплуатации подобных сборочных систем или с использованием нормативных показателей надежности типовых узлов:

$$T_{eh} = \frac{1 - r_h}{r_h} \cdot T_T$$

r_h – коэффициент готовности h -й позиции станции сборочной системы.

где T_T коэффициент готовности транспортной системы.

$$T_{пг} = P_{пг} \cdot \theta_{пг}$$

где $P_{пг}$ – вероятность невозможности сборки при протекании одного рабочего цикла и наличии годных собираемых деталей, $\theta_{пг}$ – среднее время устранения одного отказа в работе сборочной системы из-за невозможности сборки при наличии годных деталей.

Величина $P_{пг}$ может быть сведена к нулю, если выполнены условия собираемости. Величина $\theta_{пг}$ равна T_T , если отказы в работе сборочной системы являются самоустраняющимися. Если же при появлении отказа сборочная система остановится и необходимо вмешательство человека, то величина $\theta_{пг}$ определяется в зависимости от ремонтпригодности сборочной системы.

Величина $T_{нб}$ рассчитывают по формуле:

$$T_{нб} = P_6 \cdot \theta_{нб}$$

где P_6 – вероятность отказа в работе сборочной системы при наличии бракованных деталей; $\theta_{нб}$ – среднее время устранения отказа из-за попадания на позицию сборки бракованных деталей.

При наличии автоматического контроля собираемых деталей

$$P_6 = 0,003(n_1 + n_2)$$

где n_1, n_2 – соответственно, число контролируемых параметров перед началом и в процессе сборки.

Величину $\theta_{пб}$ определяют аналогично $\theta_{пг}$.

Внецикловые потери по организационно-техническим причинам определяют на основе статистических данных. При недостаточности этих данных внецикловые потери можно рассчитать по формуле:

$$T_{от} = 0,1 \cdot \Phi_{до} \cdot \frac{60}{П}$$

где $\Phi_{до}$ – действительный годовой фонд времени работы сборочной системы ч; П – годовая программа выпуска деталей.

3.1.5. Оформление технологической документации сборки изделия

Состав технологических документов соответствующих видов на технологические процессы сборки, требования к их заполнению и оформлению приведены в работах /8/. Там же даны примеры оформления маршрутных и операционных карт слесарно-сборочных работ.

3.2. Проектирование технологического процесса обработки заготовок на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах

Последовательность разработки ТП обработки заготовок на станках с ЧПУ и на станках с ручным управлением принципиально одинакова. Характерны лишь большая концентрация переходов обработки на одном станке с ЧПУ и стремление обработать заготовку за один уставов.

Этапы разработки ТП обработки заготовок на станка с ЧПУ даны в табл. 9 учебного пособия. Особое внимание при проектировании ТП следует обратить на оценку технологической конструкции детали и выбор заготовки. В табл. 2 справочника /10, с. 543/ приведены примеры улучшения техноло-

гичности конструкций деталей, заготовки которых обрабатывают на станках с ЧПУ. Заготовки, предназначенные для обработки на станках с ЧПУ, должны иметь допуски и припуски не менее чем на (20-40) % меньше, чем в случае обработки заготовок на станках с ручным управлением. В справочнике /11/ приведены рекомендации по выбору последовательности выполнения переходов обработки заготовок деталей на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ. Там же даны рекомендации по выбору технологического оборудования и инструментальной оснастки. Рекомендации по выбору технологической оснастки для станков с ЧПУ даны в справочнике /12,13/. Пример варианта описания ТП обработки корпуса червячного редуктора на станках с ЧПУ приведены в табл. 10 пособия /14/.

На заключительной стадии проектирования ТП выполняют нормирование операций и расчет производительности станков с ЧПУ. Рекомендации по нормированию и расчету производительности даны в справочнике /11/. В пояснениях приводят циклограммы работ станков с ЧПУ, выполненные по форме рис.21. В приложении помещают компоновку участка из станков с ЧПУ в произвольном масштабе с примерным соблюдением соотношений основных размеров. На компоновке показывают главный вид и вид сверху, приводят необходимые установочные и габаритные размеры, указывают позиции на основное и вспомогательное оборудование. Спецификацию на компоновочную схему рекомендуется выполнять в виде самостоятельного документа.

Технологическую документацию оформляют после завершения разработки ТП и помещают в приложение. Виды документов на ТП и операции, выполняемые на станках с ЧПУ (ГОСТ 3.1404-86), приведены в табл. 1 пособия /14/. Там же в приложениях 5 – 8 /14/ приведены примеры заполнения КТП, КЭ, КН/П, а в приложении 9 - пример оформления ОК.

После оформления операционного ТП разрабатывают ТЗ на проектирование специальных средств технологического оснащения (приспособлений, контрольно-измерительных устройств и т.п.) в соответствии с ГОСТ 15.001-75. К разработ-

ке ТЗ студент приступает после тщательного изучения типовых конструкций устройств аналогичного назначения по научно-технической и патентной литературе, паспортам и стандартам. ТЗ на проектирование специальных средств технологического оснащения удобно оформлять в виде табл. 2.28 учебного пособия /8/ и табл. 5, 11, 12 настоящих методических указаний.

Наряду с широким применением станков с ЧПУ продолжается поиск путей дальнейшего повышения их производительности, в том числе путем группирования их в ГПС, чтобы их производительность была близка к производительности автоматических линий.

Применение ГПС позволяет комплексно автоматизировать производственный процесс путем автоматизации всех основных, и вспомогательных процессов, операций и управления. Это определяет специфику проектирования ТП обработки заготовок в ГПС по сравнению с проектированием ТП обработки заготовок на станках с ЧПУ. Вопросы технологического проектирования для ГПС изложены в работе. Студент приводит анализ исходных данных, необходимых для разработки технологического процесса, оценку технологичности конструкции детали - представителя и, при необходимости, отрабатывает конструкцию детали - представителя на технологичность, разрабатывает маршрут изготовления детали - представителя, обосновывает выбор исходной заготовки и метода ее изготовления, выбирает технологические базы и методы обработки поверхностей заготовки, проектирует технологический маршрут обработки, формирует технологические переходы и обосновывает выбор исходной точки, режущего инструмента, рассчитывает режимы резания и устанавливает и последовательность выполнения переходов в операции и оформляет операционные эскизы, разрабатывает траектории движения режущего инструмента, обосновывает выбор технологической оснастки, состава и планировки оборудования, СОСТАВА И структуры системы обеспечения ГПС, рассчитывает загрузку технологического оборудования и строит циклограмму его работы, нормирует затраты труда на выполнение операций. На

заключительной стадии проектирования ТП студент оформляет технологическую документацию в соответствии с ГОСТ 3.1404-86 (см. табл. 11 в /14/) и ГОСТ 3.1105-84 и разрабатывает технические задания на проектирование специальных средств технологического оснащения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» одна из профилирующих учебного плана направления подготовки бакалавров 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль «Технология машиностроения».

Автоматизация производства в машиностроении - комплексная конструкторско-технологическая задача создания новых технологий и техники. Направление автоматизации производственных процессов (АПП) в машиностроении состоит в создании таких высокоэффективных технологических процессов и высокопроизводительных средств производства, применение которых позволило бы исключить непосредственное участие человека в управлении ими в процессе производства.

Методические указания содержат рекомендации по проектированию технологических процессов изготовления деталей и сборки изделий в автоматизированном производстве (Ч.1), по конструированию различных исполнительных и контрольных устройств и расчету их основных параметров (Ч.2).

Самостоятельная работа по АПП ставит своей основной целью закрепление полученных знаний и приобретение специальных знаний и навыков, необходимых для проектирования высокоэффективных технологических процессов автоматизации машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация дискретного производства / Б.Е. Бонев, Г.И. Бохачев, И.К. Бояджиев и др.; под общ. ред. Е.И. Семенова, Л.И. Волчкевича. М.: Машиностроение, 1987. 376 с.
2. Автоматизация процессов машиностроения: учеб. пособие / Я. Буда, В. Гаповски, В.С. Вихман и др.; под ред. А.И. Дашенко. М.: Высш. шк 1991. 480 с.
3. Автоматические линии в машиностроении: справочник: в 3 т. / ред. совет: А.И. Дашенко (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1984.
4. Активный контроль в машиностроении: справочник / под ред. Е.И. Педя. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1978. 352 с.
5. Берзин В.Р. Расчет и проектирование грузочно - транспортных устройств в курсовых и дипломных проектах: учеб. пособие / В.Р. Берзин. Ульяновск: УлЕТУ, 1997.
6. Вепасов С.С. Управление качеством продукции средствами активного контроля / С.С. Вепасов, З.Ш. Гейпер. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во стандартов, 1989. 264 с.
7. Волков А.Л. Автоматизация контроля качества продукции на ГПЗ-1: учеб. пособие / А.Л. Волков, Г.М. Тышловский. М.: Машиностроение, 1984. 40 с.
8. Худобин Л.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие / Л.В. Худобин, В.Ф. Гурьянихин, В.Р. Берзин. М.: Машиностроение, 1989. 289 с.
9. Худобин Л.В. Тематика и организация курсового и дипломного проектирования по технологии машиностроения. Общие правила оформления проектов: учеб. пособие / Л.В. Худобин, В.Ф. Гурьянихин, В.Р. Берзин. Ульяновск: УлГТУ, 1995. 86 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. Т. 1. 656 с.

11. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
12. Кузнецов Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю.И. Кузнецов., А.Р. Маслов, А.И. Бойков.- 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
13. Кузнецов Ю.И. Технологическая оснастка для станков с ЧПУ и промышленных роботов: учеб. пособие / Ю.И. Кузнецов. М.: Машиностроение, 1987. 112 с.
14. Худобин Л.В. Разработка технологических процессов изготовления деталей в курсовых и дипломных проектах: учеб. пособие / Л.В. Худобин. Ульяновск: УлГТУ, 1997. 148 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	2
2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ ЗАНЯТИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	3
2.1. Исходная информация для самостоятельной работы	3
2.2. Служебное назначение и техническая характеристика объекта производства	4
2.3. Расчет такта выпуска объекта производства	4
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ НА САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЯХ	6
3.1. Проектирование технологического процесса автоматической сборки	9
3.1.1. Особенности разработки технологического процесса автоматической сборки	9
3.1.2. Последовательность разработки технологического процесса автоматической сборки	11
3.1.3. Размерный анализ технологического процесса автоматической сборки	21
3.1.4. Расчет производительности автоматической сборочной системы	26
3.1.5. Оформление технологической документации сборки изделия	28
3.2. Проектирование технологического процесса обработки заготовок на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах	28
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	32

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для проведения самостоятельной работы
по дисциплине «Автоматизация производственных
процессов в машиностроении» для студентов
направления подготовки бакалавров 15.03.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
(профиль «Технология машиностроения»)
всех форм обучения
Часть 1

Составители:

Кириллов Олег Николаевич

Сай Вадим Алексеевич

В авторской редакции

Компьютерный набор Н.А. Мосалкиной

Подписано в печать 20.03.2015.

Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л., 2,2. Уч.-изд л. 1,9. Тираж экз. "С"

Зак. № .

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14