

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Г.А. Сухочев С.Н. Коденцев

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ.
ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА
ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК И ДВИГАТЕЛЕЙ**

Утверждено учебно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2017

УДК 621.9.06-529

Сухочев Г.А. Технология машиностроения. Техническая подготовка производства энергетических установок и двигателей: учеб. пособие / Г.А. Сухочев, С.Н. Коденцев. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. 177 с.

В пособии представлены основные сведения по технической подготовке производства перспективных энергетических установок и двигателей.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлениям 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Технология машиностроения»), 15.04.05 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки «Современные технологии производства в машиностроении»), дисциплине «Технология машиностроения», по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», дисциплине «Технология производства авиационных и ракетных двигателей».

Табл. 8. Ил. 51. Библиогр.: 6 назв.

Рецензенты: кафедра производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. В.А. Иванников); д-р техн. наук, проф. А.В. Кузовкин

© Сухочев Г.А., Коденцев С.Н., 2017

© Оформление. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху инновационной экономики время, затраченное на производство товара, является важнейшим фактором успеха или неуспеха бизнеса. Даже качественно произведенный товар может оказаться невостребованным, если рынок к моменту выхода новой продукции уже насыщен подобными товарами компаний-конкурентов. В пособии подробно рассмотрены вопросы обеспечения ускоренной технической подготовки производства энергетических установок и двигателей, даны определение и исходные понятия аддитивных технологий и производств. Отдельные разделы посвящены рассмотрению: методов и средств реализации подготовки производства с использованием технологий быстрого прототипирования, требований к средствам технологического оснащения заготовительного и механосборочного многономенклатурного производства для перспективных энергетических установок и двигателей. При создании наукоемкого изделия в современных рыночных условиях особенно актуальны задачи, которые обеспечивают максимально возможное снижение затрат труда, материалов и энергии на всех этапах жизненного цикла изделий, включая обслуживание и ремонт у потребителя. Успешное сочетание этих задач зависит от делового творческого содружества создателей новой техники - конструкторов и технологов - и их взаимодействия в части ускоренной подготовки производства с использованием передовых АФ-технологий.

В пособии сформированы тематические разделы, изучение которых позволяет приобрести знания, необходимые для глубокого понимания теоретических и практических задач технико-экономического и организационного характера, возникающих при создании перспективных энергетических установок и двигателей, их производстве и эксплуатации.

1. ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ДВИГАТЕЛЕЙ

1.1. Понятие системы технической подготовки производства

Постоянно действующими нормативно-технической документацией в машиностроении регламентировано такое понятие как система технической подготовки производства (ТПП). Она представляет собой совокупность взаимосвязанных научно-технических процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия выпускать продукцию с заданными техническими условиями качества.

В рыночных условиях подготовка машиностроительных предприятий к выпуску многономенклатурной продукции усложняется, так как объем труда, затрачиваемый на освоение перспективных энергетических установок и двигателей будет значительно возрастает в следствии конструктивной сложности и многодетальности конечного изделия. Для того, чтобы уменьшить трудозатраты применяется система единой технической документации по технической подготовке производства - ЕСТПП. ЕСТПП - это установленная государственными стандартами система организации и управления технической подготовкой производства, непрерывно совершенствуемая на основе достижений науки и техники, управляющая развитием технической подготовки производством на уровнях: государственном, отраслевом, организации, предприятии. Основная цель ЕСТПП - обеспечение необходимых условий для достижения полной готовности любого типа производства к выпуску изделий заданного качества, в оптимальные сроки при наименьших трудовых, материальных и финансовых затратах. ЕСТПП призвана обеспечить:

- единый для каждого предприятия, организации системный подход к выбору, применению методов и средств технической подготовки производства, соответствующих передовым достижениям науки, техники и производства;

- высокую способность производства к непрерывному его совершенствованию, быстрой переналадке на выпуск более совершенной продукции;

- рациональную организацию механизированного выполнения комплекса инженерно-технических работ, в том числе автоматизацию конструирования объектов и средств производства;

- разработку технологических процессов и управление технической подготовкой производства;

- взаимосвязь технической подготовки производства с другими автоматизированными системами и подсистемами управления.

Задачи технической подготовки производства решаются на всех уровнях и группируются по следующим четырем принципам:

- обеспечение технологичности изделий;

- разработка технологических процессов;

- проектирование и изготовление средств технологического оснащения;

- организация и управление технической подготовкой производства.

Основу ЕСТПП составляют:

- системно-структурный анализ цикла ТПП;

- типизация и стандартизация технологических процессов изготовления и контроля;

- стандартизация технологической оснастки и инструмента;

- агрегатирование оборудования из стандартных элементов конструкции.

Для разработки стандартных технологических процессов производят классификацию технологических операций путем их расчленения от сложного к простому до получения мельчайших неделимых элементов технологии с соблюдением технологической последовательности всего процесса. На каждый неделимый элемент или технологическую операцию разрабатывается стандарт предприятия по установленной форме (технологическая карта), где дается исчерпывающее описание всех переходов, из которых формируется данная элементарная операция, со всеми необходимыми объяснениями и примечаниями. Стандартные технологические процессы разбиваются на операции изготовления стандартных или унифицированных деталей, от качества которых зависит надежность изделия. ЕСТПП устанавливает три стадии работы над документацией по организации и совершенствованию технической подготовки производства:

- обследование и анализ существующей на предприятии системы ТПП;

- разработка технического проекта ТПП (в нем определяется назначение, формируются требования, которым должны удовлетворять как система ТПП в целом, так и отдельные ее элементы);

- создание рабочего проекта.

На этом этапе разрабатываются:

- информационные модели решения всех задач;
- классификаторы технико-экономической информации);

- оригинальные, типовые и стандартные технологические процессы;

- стандарты предприятия на средства технологического оснащения;

- документация на организацию специализированных рабочих мест и участков основного и вспомогательного производства на основе типовых и стандартных технологи-

ческих процессов и методов групповой обработки деталей;

– рабочая документация для решения задач с помощью автоматизированного оборудования;

– информационные массивы и базы данных;

– организационные и должностные инструкции.

Один из основных показателей ТПП - длительность цикла ТПП. Необходимо для начала установить структуру ТПП. Структура ТПП - это отношение затрат на отдельные виды работ в составе ТПП к общему итогу затрат на ТПП, выраженное в процентах. Длительность цикла ТПП - это календарное время от начала до окончания ТПП нового изделия или целого производства. Она определяется по формуле:

$$D_{\text{ТПП}} = q_1 T_{\text{ц1}} + q_2 T_{\text{ц2}} + q_3 T_{\text{ц3}} + \dots + q_n T_{\text{цn}},$$

где q_1, q_2, q_3 - коэффициенты коррекции времени, учитывающие параллельное и параллельно-последовательное выполнение работ в процессе ТПП;

$T_{\text{ц1}}, T_{\text{ц2}}$ - время на получение конструкторской, разработку технологической документации, изготовление технологического оснащения, нестандартного оборудования, техническую и организационную перестройку производства, подготовку и переподготовку кадров, на изготовление и проведение испытания и др. Длительность цикла ТПП оказывает огромное влияние на величину затрачиваемых ресурсов, незавершенного вспомогательного производства, ускорение оборачиваемости оборотных средств, себестоимость работ по ТПП. Основными направлениями его сокращения являются: увеличение объема работ в параллельном и параллельно-последовательном исполнении и снижение трудоемкости на каждом из этапов.

1.2. Основное содержание конструкторской подготовки производства

Теперь, когда установлены основные этапы проведения ТПП, можно приступить к первой стадии - конструкторской

подготовке производства. Конструкторская подготовка производства заключается в проектировании и освоении новой продукции и совершенствовании выпускаемой.

Она осуществляется в соответствии с Единой системой конструкторской документации (ЕСКД), предусматривающей следующие этапы (стадии) разработки:

– техническое задание, определяющее назначение наукоёмкого изделия (продукции), его технические характеристики, показатели качества, технологические, организационные и экономические условия производства, требования к конструкторской документации. Техническое задание составляет заказчик для организации-разработчика проекта. Разработчиками являются конструкторские бюро, научно-исследовательские институты, конструкторские отделы предприятий;

– техническое предложение, содержащее технико-экономическое обоснование целесообразности разработки изделия на основании анализа технического анализа заказчика и встречных вариантов проектно-технологических решений по наукоёмкому изделию, всесторонней оценки всех возможных решений с учетом современного состояния проблемы. После согласования предложения с заказчиком и утверждении его в установленном порядке оно является основанием для разработки эскизного проекта;

– эскизный проект состоит из графической части, представляющей собой совокупность конструкторских документов (чертежей), раскрывающие конструкторские решения с указанием параметров, габаритных размеров, дающих *общее представление* о новом изделии, и пояснительной записки с расчетами основных параметров изделия, описанием принципов его работы, эксплуатационных особенностей.

На основании утвержденного вышестоящей организацией эскизного проекта разрабатывается технический проект, который, так же, как и эскизный, состоит из графической части и пояснительной записки, содержащих окончательные

технические решения, дающие *полное представление* об устройстве разрабатываемого изделия и его отдельных узлов и исходных данных для разработки рабочей документации. Указывается так же максимально возможный уровень унификации и применения стандартных сборочных единиц и деталей, приводятся результаты экспериментальных работ по повышению технологичности конструкции. Техническое проектирование часто сопровождается изготовлением макета изделия.

Рабочий проект. В нем содержатся рабочие чертежи на каждую деталь изделия (деталировка) с указанием марки материала, массы детали и других конструктивных данных. ЕСКД устанавливает следующие основные требования к выполнению рабочих чертежей:

- оптимальное применение стандартных и покупных изделий, освоенных ранее производством и соответствующих современному уровню техники;
- рациональное ограничение номенклатуры размеров, предельных отклонений конструктивных элементов, а также марок и сорта материалов и покрытий;
- достижение необходимой степени взаимозаменяемости деталей и узлов;
- наивыгоднейших способов изготовления и ремонта изделий, а также максимального удобства в эксплуатации.

Рабочий проект сопровождается спецификацией, определяющей состав сборочной единицы, узла или комплекта и необходимой для комплектования конструкторских документов и планирования запуска в производство указанных изделий.

Проектирование новой продукции в массовом и серийном производстве заканчивается изготовлением опытных образцов и сдачей технической документации заказчику. В настоящее время все перечисленные стадии конструкторской подготовки используются при создании лишь принципиально

новых *научноёмких* видов продукции. В остальных случаях, как правило, применяется двухстадийное проектирование, при котором совмещаются разработка технического и рабочего проектов, а в ряде случаев опускается также стадия эскизного проектирования.

Обязательным условием конструкторской подготовки является соблюдение требований стандартизации и унификации. Стандарты устанавливают и регламентируют на определенный период прогрессивные требования, нормы, методы, правила, распространяемые на сами изделия, на факторы и условия, влияющие на их качество.

Конструктивная унификация представляет собой ограничение разнообразия изготавливаемых типоразмеров деталей и узлов конструкций путем заимствования из ранее выпущенных конструкций. Унификация может проводиться как в пределах одного завода, специализированного на выпуске определенной продукции, так и в масштабе всей отрасли в целом.

При внутризаводской унификации одна из конструкций выбирается в качестве «базовой» модели, а затем путем присоединения к ней недостающих или, наоборот, изъятия из нее ненужных частей, узлов, деталей создается ряд производных моделей. В этом случае резко сокращается число оригинальных деталей за счет увеличения унифицированных и ранее освоенных производством.

Таким путем осуществляется конструктивная преемственность изделий, формируются их конструктивные ряды. Уровень стандартизации и унификации определяется системой коэффициентов:

- унификации (K_y);
- повторяемости ($K_{повт}$);
- конструктивной преемственности ($K_{пр}$);
- стандартизации ($K_{ст}$);

Необходимым условием начала производства проек-

тируемой продукции является определение ее экономической эффективности путем сопоставления эффекта и затрат ранее производимого продукта с новым, показатели которого должны быть отражены в техническом задании.

1.3. Задачи технологической подготовки производства

Следующей стадией технической подготовки является технологическая подготовка производства.

Именно она обеспечивает полную готовность предприятия к выпуску новой продукции с заданным качеством, что, как правило может быть реализовано на технологическом оборудовании, имеющем высокий технический уровень, обеспечивающий минимальные трудовые и материальные затраты.

Технологическая подготовка производства осуществляется в соответствии с требованиями стандартов Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) и предусматривает в процессе реализации решение следующих задач:

- обеспечение высокой технологичности конструкций, что достигается тщательным анализом технологии изготовления каждой детали и технико-экономической оценкой возможных вариантов изготовления;

- проектирование технологических процессов, включающее разработку процессов традиционной (основной для данного типа производства) обработки, а также программ для станков с числовым программным управлением, индивидуальных технологических процессов, разработку технических заданий на спецстантку и специальное технологическое оборудование (проектирование средств технологического оснащения проводится в порядке, принятой для конструкторской подготовки производства);

- структурный анализ изделия и на его основе составление межцеховых технологических маршрутов обработки

деталей и сборки изделий;

- технологическую оценку возможностей цехов, основанную на расчете производственных мощностей, пропускной способности и т.д.

- разработку технологических нормативов трудоемкости, норм расхода материалов, режимов работы оборудования;

- изготовление средств технологического оснащения;

- отладку технологического комплекса (производится на установочной серии изделий) - технологического процесса, оснастки и оборудования;

- разработку форм и методов организации производственного процесса;

- разработку методов технического контроля.

Технологичность конструкции оценивается количественно посредством системы характеристик, включающей показатели трудоемкости изготовления, удельной материалоемкости, технологической себестоимости, коэффициентов использования материалов, применения типовых технологических процессов, стандартизации, унификации.

Высокая технологичность способствует снижению производственных затрат и поэтому служи критерием экономически более выгодного технологического варианта. Такой выбор производится при совместном решении двух уравнений:

$$C_{т1} = c_1 N + V_1;$$

$$C_{т2} = c_2 N + V_2,$$

отражающих соответственно технологические себестоимости $C_{т1}$ и $C_{т2}$ двух вариантов изготовления. В результате определяется критический объем производства

$$N_{кр} = (c_2 - c_1) / V_1 - V_2,$$

служащий границей экономической целесообразности их применения. При этом c_1, c_2, V_1, V_2 соответственно условно-постоянные и переменные расходы в структуре себестоимости вариантов, N - объем выпуска. При объеме производства меньшем чем $N_{кр}$, будет выгоден вариант 1, при выпуске,

большем $N_{кр}$ - вариант 2.

Указанный метод расчета пригоден, когда оцениваются технологические процессы (на уровне участка, цеха), не требующие сколько-нибудь значительных капитальных затрат.

В случаях, связанных с внедрением технологических процессов, требующих существенных капиталовложений, выбор экономически наиболее выгодного варианта производится по методу приведенных затрат. Для повышения эффективности технологической подготовки производства большое значение имеют типизация и нормализация элементов технологии.

Типизация технологических процессов строится на основе технологических рядов. В такой ряд включаются детали, конфигурация и основные параметры которых позволяют вести их изготовление или обработку по одному общему технологическому маршруту.

Типизации предшествует разработка конструктивно-технологической классификации, при которой детали предварительно группируются в классы по признаку служебного назначения.

Дальнейшее разделение на группы (например, по признаку общности материала и способа его обработки) и подгруппы (например, по размерам деталей) приводит к максимальной унификации, позволяющей осуществить принцип групповой обработки, который основывается на конструктивно-технологическом сходстве деталей с последующим выбором из них комплексной детали, имеющей все поверхности обработки, встречающиеся в деталях данной группы.

Это позволяет создать для такой детали специальное приспособление со сменными наладками и с его помощью обработать на одной настройке многоцелевого станка и других средств технологического оснащения все детали данной группы.

Технологические нормы разрабатываются применительно к типовым геометрическим элементам конструкций,

например, на радиусы закруглений, припуски, допуски, конусность, на состав шихты, на режимы обработки и пр. и являются информационной базой для использования технологий быстрого прототипирования.

Типизация, нормализация, технологическая унификация дают особенно большой эффект, если проводятся на уровне стандартов предприятий, отраслей производства.

Для обеспечения высокого организационно-технического уровня производства и качества выпускаемой продукции большую роль играет строгое соблюдение технологической дисциплины, т.е. точного выполнения разработанных и внедренных на всех операциях, участках и стадиях производства продукции различных технологических процессов.

1.4. Высокозатратные в подготовке производства конструктивные элементы

В качестве примеров низкого уровня технологичности и требующие значительного объема подготовки производства показательны нагруженные *корпусные детали* с внутренними полостями и *лопастные детали* лопаточных машин с винтовыми лопастями и узкими межлопаточными каналами сложного профиля.

Классифицируя такие детали, можно выделить следующие типовые объекты:

- односторонние открытые колеса насосов (рис. 1.1,а) и компрессоров (рис. 1.1,б) с малой закруткой лопаток, шнеки (рис. 1.1,в) с небольшой высотой лопастей, которые поддаются лезвийной и абразивной обработке;

- шнеки с постоянным и переменным шагом, с различным профилем винтовых каналов и лопастей (рис. 1.1,в, 1.2);

- рабочие колеса агрегатов турбонаддува, где доступ традиционного металлообрабатывающего инструмента

затруднен из-за сложного пространственного профиля лопаток (рис. 1.3);

– винтовые турбины высоконапорных вихревых насосов и вентиляторов (рис. 1.4) с очень большим количеством лопаток и экономически нецелесообразной трудоемкостью механической обработки;

– турбины высокооборотных компрессоров (рис. 1.5) с большим количеством лопаток и винтовыми лопастями, характеризующиеся экономически нецелесообразной трудоемкостью обработки;

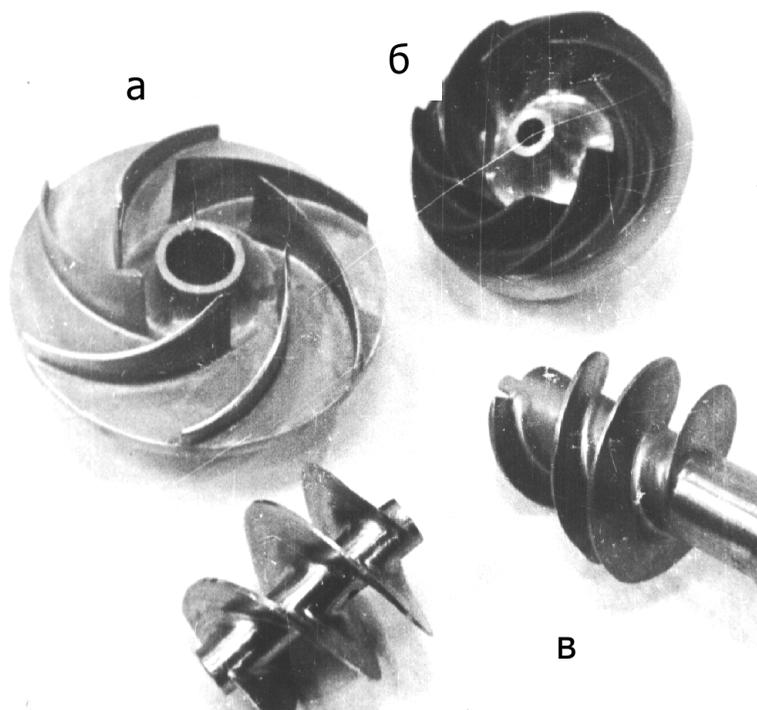


Рис. 1.1. Типовые детали с открытыми винтовыми каналами, доступными для традиционной обработки:
а, б – крыльчатки; в – шнеки



Рис. 1.2. Шнек с различным профилем винтовых каналов и лопастей



Рис. 1.3. Рабочее колесо компрессора агрегата турбонаддува

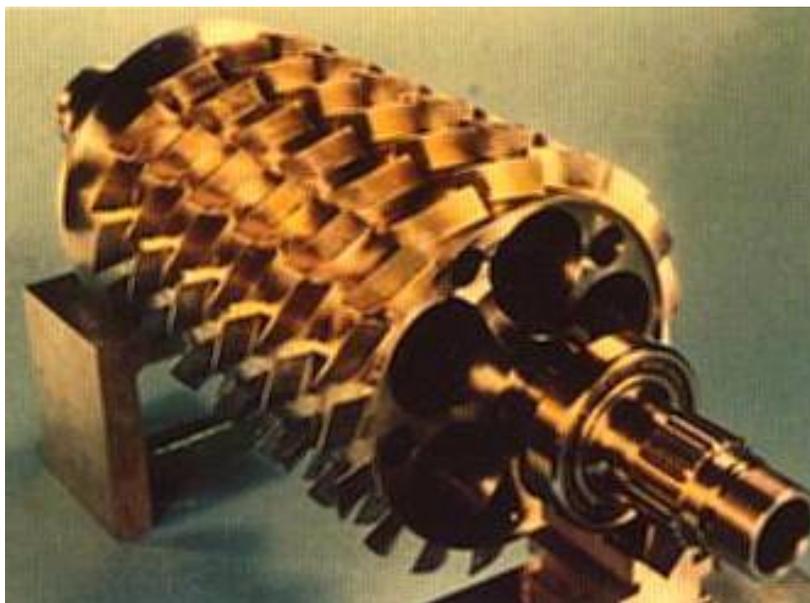


Рис. 1.4. Ротор высоконапорной вихревой турбины

– турбины высокооборотных турбонасосных агрегатов с узкими межлопаточными каналами, выполненными в цельной заготовке и недоступными для профилированного инструмента (рис. 1.6) и покрывным диском (рис. 1.7);

– корпусная деталь насосного агрегата с внутренними полостями (рис. 1.8).

Таким образом, к нетехнологичным лопаточным деталям наукоемких изделий в первую относятся конструктивные элементы агрегатов транспортных систем, имеющие внутренние закрытые и открытые полости (каналы) с выходом наружу.

Это и межлопаточные каналы центробежных и осевых рабочих колес и сопловых аппаратов насосных агрегатов, турбокомпрессоров и агрегатов турбонаддува, работающих при больших перепадах давления, температуры, нестационарных вибрационных нагрузениях и высоких окружных скоростях.



Рис. 1.5. Комбинированная турбина с винтовыми лопастями



Рис. 1.6. Турбина с закрытыми узкими межлопаточными каналами, выполненными в цельной заготовке

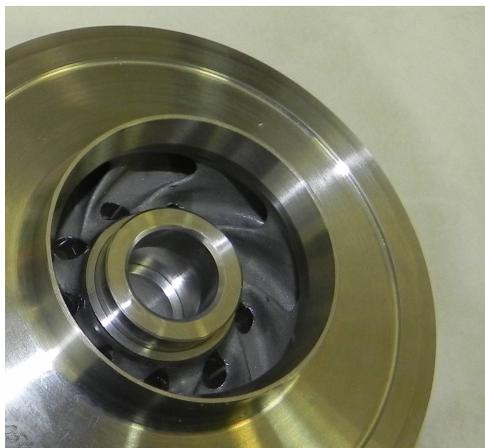


Рис. 1.7. Литая крыльчатка с покрывным диском



Рис. 1.8. Корпусная деталь насосного агрегата

Такие детали требуют много наименований технологической оснастки для получения заготовок, механической или нетрадиционной комбинированной обработки, технического контроля и испытаний. В некоторых случаях (например при изготовлении деталей с узкими межлопаточными каналами) доступ стандартного обрабатывающего или измерительного инструмента затруднен или просто невозможен.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные этапы подготовки производства к выпуску изделий.

2. Виды и основное содержание различных работ применительно к созданию изделий.

3. Поясните сущность и особенности конструкторской подготовке производства.

4. Каким образом обеспечивается заданный уровень технологичности при конструкторской подготовке производства изделий?

5. Типизация, нормализация и технологическая унификация в ускорении технической подготовки производства.

6. Как обеспечивается ускоренная технологическая подготовка производства многономенклатурных изделий.

7. Поясните роль стандартизации в технической подготовке производства многономенклатурных изделий.

8. Приведите примеры известных Вам конструктивно-технологических решений для перспективных изделий отечественного двигателестроения.

9. Дайте технологическую классификацию типовых нагруженных конструктивных элементов на примере лопаточных деталей.

10. В чем заключается особенность эксплуатации деталей энергоустановок и двигателей в экстремальных условиях?

11. Какие прогрессивные технологии используют при изготовлении сложных конструктивных элементов изделия.

2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

2.1. Прогрессивные конструкционные материалы и технологии их получения

Каждое изделие машиностроения является, как правило, системным образованием. Это относится как к конечным изделиям – машинам, приборам, оборудованию, средствам механизации и автоматизации, так и к их составным частям, конструктивным элементам и материалам. Даже любая деталь представляет собой совокупность взаимосвязанных конструктивных элементов, которые в сочетании должны быть технологически рациональны. Поэтому следует дифференцировано рассматривать технологические требования к исходным материалам и конструктивному испытанию деталей, соединений и сборочных единиц.

Основными направлениями экономии ресурсов за счет применения прогрессивных материалов являются:

- использование рационального сортамента и марок исходных материалов;
- применение металлозаменителей;
- применение ресурсосберегающих технологий.

Использование *рационального сортамента и марок исходных материалов* существенно влияет на экономию материалов в производстве. Этому способствует, в частности, использование в качестве заготовок деталей сортового проката, фасонных и специальных гнутых профилей и других видов заготовок, исключаящих многие операции механической обработки и необоснованное применение в отдельных случаях литых заготовок и поковок.

К рациональным исходным материалам могут быть также отнесены прогрессивные виды проката с повышенными прочностными характеристиками, минусовыми допусками, стабильными механическими свойствами, антикоррозионными

покрытиями.

Применение металлозаменителей. По многим прочностным характеристикам пластмассы давно стали заменителями металла, а по ряду свойств (стойкости к различным средам, диэлектрических и других) они существенно превосходят металлы. Например, лопасти вертолетных винтов, изготовленные из стеклопластиков, более надежны и служат в разы дольше стальных. Детали из керамики по основным технико-эксплуатационным свойствам вполне конкурентоспособны по сравнению с деталями из высокопрочных сталей и сплавов высокой твердости, например в качестве торцовых уплотнений высоконагруженных насосных агрегатов.

Но не всегда удается заменить полностью в конструкции изделия металлы на неметаллические материалы. В отдельных случаях ограничением является требование недопустимости снижения общей массы изделия по условиям эксплуатации. Однако и в этих случаях могут быть найдены резервы экономии металла.

Например, в рамной конструкции ракетного двигателя во избежание повышенных эксплуатационных вибраций по причине снижения веса в результате «чрезмерной» экономии металла при его конструировании предусматривается применение полостных наполнителей из неметаллических материалов (пенополиуретанов), которые кроме основной своей функции – теплозащиты, повышают виброзащищенность трубопроводов и стыков. Экономии металла способствует применение композиционных материалов, которые обладают большей удельной прочностью, повышенной коррозионной стойкостью, жесткостью.

Применение ресурсосберегающих технологий. Основное внимание при организации новых и реконструкции действующих производств уделяется освоению средств технологического оснащения (машин, оборудования, средств автоматизации), реализующих малоотходные, безотходные и

энергосберегающие технологии. Основными направлениями развития металло- и энергосберегающей техники и технологии являются:

- создание и массовое применение техники, реализующей упрочняющие, малоотходные и безотходные технологические процессы;

- разработка новых и совершенствование выпускаемых видов энергопотребляющей техники (электрооборудования различных транспортных систем, электробытовых товаров и других изделий) в соответствии с современными, жесткими требованиями к показателям экономного расходования топлива и энергии.

При разработке и модернизации энергопотребляющей техники важную роль играет применение в конструкции энергетических и технологических установок систем и устройств, которые обеспечивают автоматический контроль и регулирование рабочих параметров изделий, оптимальный режим их работы. Внедрение ресурсосберегающих технологий предполагает также решение проблемы экономного использования трудовых ресурсов. Эта проблема решается в двух направлениях:

- 1) экономия живого труда, т.е. труда, непосредственно используемого в технологическом процессе преобразования предмета труда в конечный продукт;

- 2) экономия овеществленного труда, т.е. рациональное (более экономное) использование трудовых затрат, воплощенных в продуктах труда, при их непосредственном использовании по назначению.

Применение технологических методов упрочнения и нанесения антикоррозионных покрытий, предусмотренное в конструкторской документации и реализованное в производственных условиях, создает предпосылки для снижения массы машин и повышения их ресурсных характеристик.

К современным высокоэффективным методам технологического упрочнения деталей, относятся:

–плазменная поверхностная закалка, значительно увеличивающая износостойкость деталей (гильзы плунжеров);

–низкотемпературное жидкостное цианирование, повышающее стойкость рабочих поверхностей к выкрашиванию (кромки сопрягаемых поверхностей прецизионных пар трения);

–термическая обработка деталей в защитных атмосферах, предотвращающих поверхностное обезуглероживание металла (мембраны регуляторов высокого давления);

–формирование регулярных микрорельефов поверхностей деталей методом вибрационного обкатывания, повышающее износостойкость деталей в результате улучшения условий смазки (гильзы и поршни компрессоров);

–упрочнение деталей методами пластического деформирования, наплавки износостойких сплавов и материалов, индукционной наплавки твердых сплавов и другими методами, повышающими стойкость деталей при рабочих нагрузках и перегрузках;

–комбинированная поверхностная обработка нагруженных деталей, работающих в экстремальных условиях, нетрадиционными методами с использованием совмещенных в одном процессе воздействий различного вида (механических импульсных, электрических, магнитных, лучевых, плазменных и т.д.).

К числу *прогрессивных, ресурсосберегающих методов изготовления* деталей и их заготовок относятся принципиально новые методы формоизменения, формообразования и упрочнения, в том числе:

–профилирование специализированных заготовок на ковочных вальцах и станах поперечно-винтовой прокатки;

–безокислительный и малоокислительный нагрев, обеспечивающий уменьшение припусков и снижение расхода металла на угар;

–автоматизированный раскрой материала в листах и

ленте;

– точная дозированная резка заготовок под горячую малоотходную объемную штамповку;

– ротационная вытяжка тонкостенных оболочек;

– объемная вибрационная обработка и комбинированные с ней методы и др.

– аддитивные технологии прототипирования заготовок.

Выбор таких методов изготовления и обработки при конструировании, а также ориентация на применение соответствующих средств технологического оснащения – один из важнейших источников экономии материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов.

2.2. Требования к технологичности конструкции в механообрабатывающем производстве

В зависимости от принадлежности различают детали взаимосвязанные и самостоятельные. Взаимосвязанными считают детали, являющиеся составными частями других изделий, самостоятельными – детали, не входящие в состав других изделий (например, гаечный ключ, сверло и др.).

Технологичность конструкции взаимосвязанной детали должна удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к изделию, в состав которого она входит, и частным требованиям, связанным непосредственно с ее технологичностью. Технологичность конструкции самостоятельной детали следует обеспечивать на всех стадиях ее разработки, исходя из базовых показателей технологичности, указанных в техническом задании. Конструкцию детали следует обрабатывать на технологичность комплексно, учитывая зависимости от технологичности исходной заготовки детали, каждого вида обработки в технологическом процессе изготовления, технологичности сборочной единицы, в которую эта деталь входит как составная часть.

Конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть в целом стандартной.

Состав конструктивных элементов выбирают с учетом ограничительных перечней, стандартов и картотек применяемости. Формы и габариты детали, основные и вспомогательные базы и их сочетания, схемы простановки размеров, конструктивные элементы, материалы, покрытия, требования к упрочнению должны максимально соответствовать принятым для типовой конструкции детали. Для изготовления деталей следует применять стандартные или унифицированные заготовки.

Заготовки должны быть получены рациональным способом с учетом заданного объема выпуска и типа производства. При выборе метода изготовления заготовок следует исходить из возможности одновременного изготовления нескольких деталей.

Конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов ее изготовления и ремонта. Физико-химические и механические свойства материала, жесткость детали, ее форму и размеры выбирают с учетом требований технологии изготовления и ремонта (включая процессы упрочнения, коррозионной защиты и др.), хранения и транспортирования.

Свойства материалов связаны с методами изготовления двойной зависимостью: во-первых, методы, обладая определенными конструктивно-технологическими параметрами P_M , обеспечивают получение определенных свойств материала C_M , т.е. $P_M = f_1(C_M)$; во-вторых, свойства материала C_M для проведения процесса его преобразования требуют, чтобы свойствообразующие методы обладали соответствующими энергетическими параметрами E_M , т.е. $E_M = f_2(C_M)$.

Наличие качественных взаимосвязей между свойствами материала и распространенными методами изготовления иллюстрирует табл. 2.1.

Таблица 2.1

Взаимосвязь между свойствами материалов и методами изготовления деталей

Свойства материалов	Взаимосвязь, обусловленная зависимостью							
	$P_M = f_1(C_M)$				$E_M = f_2(C_M)$			
	Литье	Обработка давлением	Обработка резанием	Тепловое воздействие	Литье	Обработка давлением	Обработка резанием	Тепловое воздействие
Первичные								
Химический состав (содержание элементов)	-	-	-	-	+	+	+	-
Структурное строение:								
размер зерна	+	+	-	-	+	+	+	-
характер расположения зерен	+	+	-	-	+	+	+	-
Вторичные								
Механические:								
временное сопротивление	+	+	-	-	-	+	+	-
предел пропорциональности	+	+	-	-	-	+	+	-
предел текучести	+	+	-	-	-	+	+	-
относительное удлинение	+	+	-	-	-	+	-	-
удельная вязкость	+	+	-	-	-	+	-	-
твердость	+	+	-	-	-	+	+	-
Физические:								
плотность	-	-	-	-	+	-	-	-
температура плавления	-	-	-	-	+	+	+	+
температура кристаллизации	-	-	-	-	+	+	-	-
температура рекристаллизации	-	-	-	-	+	+	-	-
теплопроводность	-	-	-	-	+	+	+	-
Технологические:								
жидкотекучесть	-	-	-	-	+	-	-	-
пластичность	-	-	-	-	-	+	-	-
обрабатываемость	-	-	-	-	-	-	+	-

Между методами обработки резанием и свойствами материалов существуют только энергетические взаимосвязи, отсутствует влияние свойств материалов на процессы преобразования свойств деталей методами, основанными на использовании тепловой энергии, например, электроэрозионными, электронно-лучевыми методами, лазерной, светолучевой обработками.

Нередко возникает вопрос о целесообразности замены одного технологического способа изготовления детали на другой (например, литья на штамповку, обработки резанием на изготовление прокаткой и т.п.).

Этот вопрос решается проведением сопоставительного расчета и технико-экономического анализа сравниваемых вариантов по одному или нескольким комплексным показателям ТКИ (например, трудоемкости, материалоемкости или энергоемкости изделия в производстве, а для отдельных видов ремонтируемых изделий – в производстве и эксплуатации).

2.3. Детали, обрабатываемые электрофизическими и электрохимическими методами

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) и электрохимическая обработка (ЭХО), основанные на преобразовании электрической энергии соответственно в энергию тепловую и химическую, обеспечивают локальный сьем материала заготовки.

На технологичность конструкций деталей, подвергаемых ЭЭО или ЭХО, влияют как общие технические и организационные факторы машиностроительного производства, так и факторы, присущие только этим способам. К последним относятся:

– физико-механические свойства обрабатываемых материалов;

- конструктивные особенности деталей (например, наличие полостей сложной формы, узких глубоких щелей, отверстий малого диаметра, габариты и жесткость конструкции);
- требования к качеству поверхностного слоя;
- допустимость к обработке в среде рабочей жидкости, электролите;
- возможность изготовления деталей на имеющемся оборудовании;
- возможность использования серийного оборудования;
- возможность автоматизации процессов.

Целесообразность применения ЭЭО и ЭХО определяется прежде всего степенью сложности конструкции и материалом деталей машин. Соблюдение технологических требований к конструктивной форме деталей уменьшает сроки внедрения технологии, сокращает длительность производственного цикла, повышает производительность труда и снижает себестоимость деталей.

Классификация элементов деталей. Для размерного формообразования поверхностей детали не играет роли способ их обработки, т. е. вид физико-химического механизма съема материала, а также то, каким сочетанием движений заготовки и инструмента получена требуемая поверхность. Таким образом, основой для выбора и применения того или иного способа размерной электрообработки может служить классификация элементов деталей по виду формообразованной поверхности (рис.2.1). ЭЭО и ЭХО, позволяющие получать сложные элементы детали, имеют обширную область применения и могут использоваться для операций прошивания, вырезки, протягивания, шлифования, полирования, хонингования, точения, фрезерования и других операций по схемам, аналогичным схемам при механической обработке. При разработке технологического классификатора для эффективного внедрения ЭЭО и ЭХО целесообразно использовать традиционный классификатор конструктивных элементов деталей.

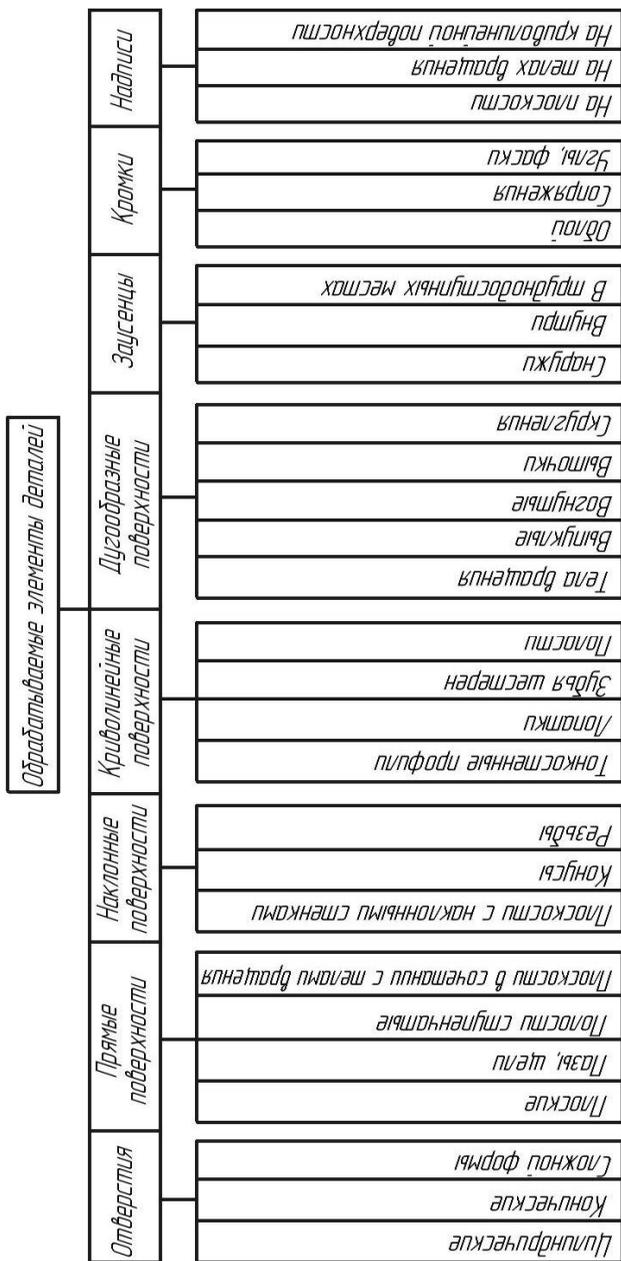


Рис. 2.1. Классификация элементов деталей, обрабатываемых электрофизическими и электрохимическими методами

В таком классификаторе детали группируют по общности конструктивного оформления и единству требований к точности и качеству поверхностей при одном виде обработки.

Классификационная группа деталей определяется основными составляющими конкретного технологического процесса: схемой базирования и крепления, последовательностью операций, типом оборудования и оснастки. Сущность технологической классификации деталей, предназначенных для ЭЭО и ЭХО, сводится к следующему:

- устанавливаются детали, которые целесообразно переводить на ЭЭО и ЭХО с целью снижения трудоемкости их в изготовлении и повышения точности и параметров качества поверхности;

- детали группируются в классы, подклассы и типы в зависимости от их конфигурации, габаритов, требований по точности, качества поверхности, материала, площади обработки;

- для каждого класса технологически сходных деталей выбраны способ их обработки, принципиальная схема оборудования и мощность источников питания, что позволяет разработать типовой технологический процесс обработки каждой детали, входящей в данный класс.

Конечной целью технологической классификации деталей является снижение трудоемкости и сокращение сроков технологической подготовки производства. Классификация деталей создает также условия для внедрения в процесс обработки изделий на технологичность компьютерных технологий. Это позволяет создавать банки так называемых типовых конструкторско-технологических решений (КТР) по ЭЭО и ЭХО, что значительно сокращает сроки технологической проработки конструкции изделий на всех стадиях проектирования.

Обеспечение технологичности конструкции. Вопросы обеспечения технологичности конструкции деталей, под-

вергаемых ЭЭО и ЭХО, должны решаться на всех стадиях создания конструкции. Особое внимание уделяется ранним стадиям проектирования. Это продиктовано специфическими технологическими возможностями формообразования на ЭЭО и ЭХО и условиями их обеспечения.

В табл. 2.2 приведены факторы, рассматриваемые при отработке деталей на технологичность на разных стадиях разработки технического предложения (ТП), эскизного проекта (ЭП) и рабочей конструкторской документации (КД).

Применение ЭЭО и ЭХО часто становится затруднительным или невозможным, если конструкция детали не предусматривает их применение.

Соответствие конструкции условиям ЭЭО и ЭХО определяется анализом следующих факторов:

- технических требований, основных параметров детали и ее элементов, подлежащих обработке;

- возможности изменения конструкции детали с целью улучшения ее прочностных и массовых характеристик за счет преимуществ ЭЭО и ЭХО;

- компоновки детали или элементов ее поверхности с точки зрения локализации зон обработки;

- удобства обработки, т. е. надежного базирования и закрепления детали и наличия измерительной базы;

- возможности уменьшения типоразмеров конструктивных элементов и их унификации с целью применения минимального числа электродов-инструментов или введения многоместной обработки;

- достигаемого экономического эффекта.

Кроме того, возможна доработка конструкции детали за счет уменьшения радиусов сопряжения поверхностей, ужесточения полей допусков, улучшения параметров качества поверхности и введения (при ЭХО) технологических временных ребер.

Таблица 2.2

Порядок рассмотрения деталей на технологичность при ЭЭО и ЭХО на разных стадиях создания изделия

Рассматриваемые факторы	Стадия разработки		
	ТП	ЭП	КД
Применяемые материалы и их физико-механические свойства (прочность, твердость, хрупкость, вязкость, электропроводность, теплопроводность)	+	+	+
Конструктивные особенности деталей (габариты, жесткость, наличие глубоких узких щелей, сложнопрофильных полостей, отверстий малого диаметра и т.д.)	—	+	+
Точность обработки деталей (обоснованность и возможность обеспечения)	—	—	+
Качество обрабатываемых поверхностей (обоснованность и возможность обеспечения)	—	—	+
Особые требования к конструкции (возможность обработки в рабочей жидкости, электролите; возможность и необходимость удаления дефектного слоя после обработки и т.д.)	+	+	+
Возможность изготовления деталей на имеющемся оборудовании, на серийном оборудовании, на специальном оборудовании	—	+	+
Наличие типовых технологических процессов и средств контроля	—	+	+
Возможность автоматизации процессов ЭЭО и ЭХО	—	+	+

При анализе детали, сконструированной без учета конкретных возможностей ЭЭО и ЭХО, возникает необходимость

в дополнительных операциях или оснастке, что усложняет и удорожает внедрение этих способов. По результатам изготовления первых деталей способами ЭЭО и, особенно, ЭХО возможна корректировка конструкторской документации с учетом полученных результатов.

Основные этапы обеспечения технологичности конструкции детали следующие:

1. Ознакомление с техническими требованиями на проектирование, эскизными чертежами. Определение аналога конструкции.

2. Анализ и отработка конструкции детали на технологичность, выдача предварительных рекомендаций.

3. Технико-экономическая оценка рабочей конструкции изделия.

4. Разработка конструкторской документации на деталь с учетом применения ЭЭО и ЭХО.

5. Изготовление опытных образцов деталей.

6. Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления опытных образцов деталей.

Рассматривая вопросы отработки конструкции детали под ЭЭО и ЭХО, необходимо учитывать особенности, преимущества и недостатки этих способов (табл. 2.3).

Основные требования к конструкции деталей. Детали, намечаемые к переводу на ЭЭО и ЭХО, должны отвечать следующим основным требованиям:

– материал детали должен быть токопроводным, не иметь включений диэлектрического характера. Поверхность материала должна быть свободной от оксидных пленок;

– конфигурация детали должна обеспечивать свободный подход электрода-инструмента к обрабатываемой поверхности;

– деталь должна иметь необходимые базы для установки и контроля, а также контактные поверхности для обеспечения токоподвода;

Таблица 2.3

Особенности, преимущества и недостатки методов ЭЭО и ЭХО

Наименование параметра	ЭЭО	ЭХО
Производительность, мм ³ /мин	20—30000	100000—120000
Погрешность геометрических размеров, мм	0,01—0,05	0,05—0,2
Параметр шероховатости, мкм	<i>Rz</i> 1—1000	<i>Ra</i> 0,2—3,0
Толщина дефектного слоя, мкм	4—400	Отсутствует
Коррозионная стойкость (по сравнению с механической обработкой)	Понижается	Повышается
Изменение поверхностного слоя	Науглероживание; омеднение; белый слой и т.п.	Наводороживание
Концентраторы напряжений	Присутствуют	Отсутствуют
Наличие заусенцев	Отсутствуют	Отсутствуют
Рабочая жидкость	Жидкие нефтепродукты (керосин, трансформаторное и промышленное масло); вода	Водные растворы нейтральных солей (NaCl, NaNO ₃ и др.)
Износ инструмента	Изнашивается	Не
Получаемые минимальные размеры, мм:		
диаметр	0,02	0,5
щель	0,05	0,5
перемычки	0,1	1,0

– обрабатываемые элементы по возможности не должны иметь закрытых (теневых) участков, исключаящих формообразование поверхностей за одно поступательное движение электрода-инструмента;

– размеры и расположение обрабатываемых элементов должны обеспечивать наиболее производительную обработку.

Технологические требования и рекомендации к конструкции некоторых типов деталей, перевод которых на ЭЗО и ЭХО является наиболее целесообразным. Формообразование способом ЭХО рассматриваемых типов деталей ориентировано на применение бескамерной схемы обработки при прошивании углублений и пазов в оболочках (рис. 2.2).

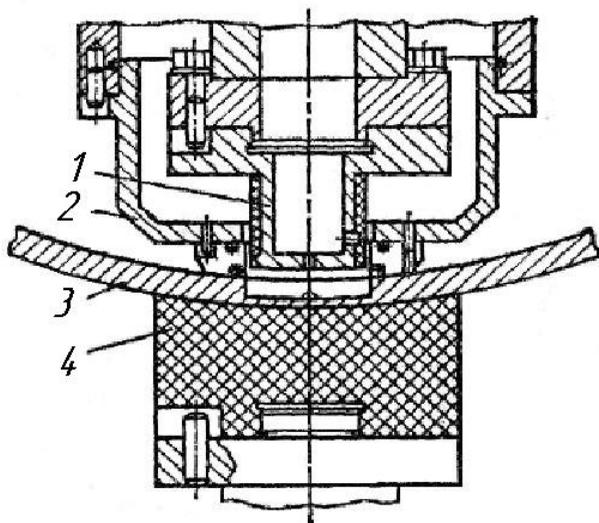


Рис. 2.2. Бескамерная схема электрохимической обработки:

- 1 – электрод-инструмент; 2 – прижимная камера;
- 3 – обрабатываемая деталь; 4 – базовая опора

Электрохимическая обработка мало жестких корпусных деталей (оболочек) с оребрением (рис. 2.3). Решаемая конструкторская задача: снижение массы деталей и качества

их рабочих поверхностей при сохранении их прочности и жесткости.

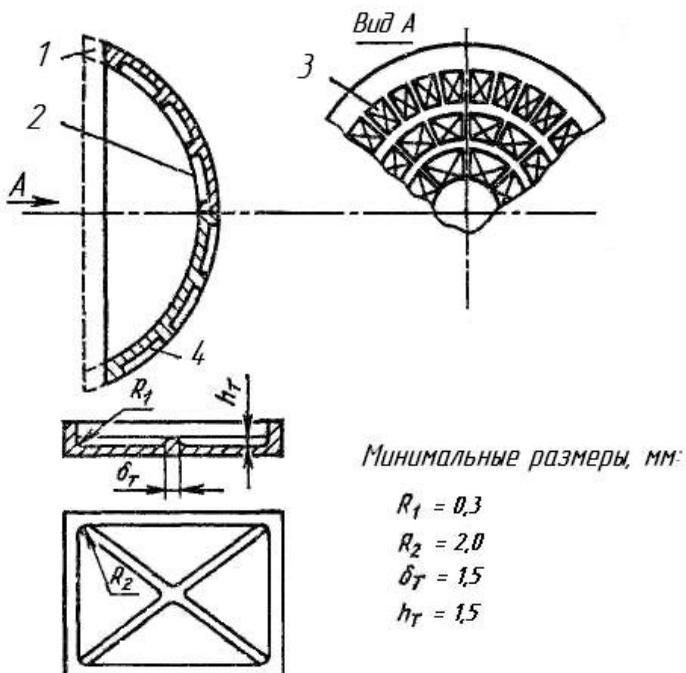


Рис. 2.3. Мало жесткие корпусные детали с оребрением и тонкой стенкой

Технологические возможности:

- обеспечение остаточной толщины полотна до 0,5 мм;
- шероховатость обработанной поверхности не хуже $Ra-1,25-7-0,63$ мкм;
- обеспечение толщины ребер не менее 2 мм;
- отсутствие заусенцев, скругление острых кромок;
- обработка формованными методами давления (вытяжки) заготовок.

Требования к конструкции деталей:

предусмотреть припуск под делительные кольца и токоподвод;

– одностороннее оребрение и гладкая базовая поверхность;

– унификация типоразмеров полостей и пазов;

введение технологических ребер, которые могут обеспечить дополнительную жесткость.

Электрохимическая обработка нагруженных деталей (импеллеров насосов) с карманами облегчения (рис. 2.4).

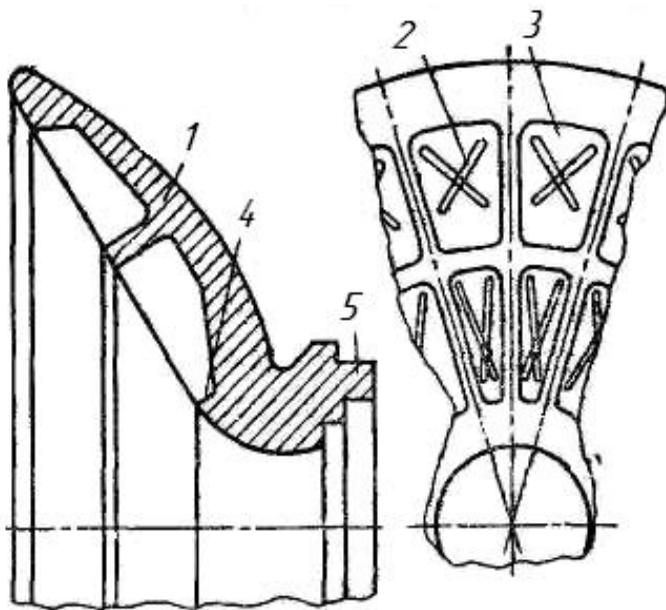


Рис. 2.4. Нагруженная деталь с карманами облегчения

Решаемая конструкторская задача: снижение массы деталей при сохранении их прочности. Технологические возможности:

– обеспечение заданного профиля карманов с точностью $\pm 0,1$ мм;

– обеспечение радиуса сопряжения между стенками и дном карманов не более 2 мм;

– шероховатость обработанной поверхности по дну карманов $Ra - 1,25-0,63$ мкм, по стенкам $Ra - 40-20$ мкм;

– отсутствие заусенцев.

Требования к конструкции деталей (см. рис. 2.4):

1 – толщина стенок между карманами не менее 3 мм;

2 – наличие технологических ребер на дне кармана;

3 – унификация типоразмеров карманов;

4 – исключение теневых зон обработки;

5 – обеспечение базирования, закрепления и надежного токоподвода.

Электрохимическая обработка сквозных и глухих отверстий в деталях (рис. 2.5).

Решаемая конструкторская задача: формообразование конструктивных элементов в деталях из труднообрабатываемых сплавов. Технологические возможности:

– прошивка глубоких круглых и фасонных отверстий;

– формообразование ступенчатых отверстий;

– шероховатость поверхности $Ra = 40-20$ мкм;

– многокатодная обработка с толщиной стенки между отверстиями до 1 мм;

– отсутствие заусенцев, скругление острых кромок;

– получение конусных отверстий.

Требования к конструкции деталей:

– скругление входных и выходных кромок отверстий $R_1 = 0,5 - 1,5$ мм;

– радиусы скругления R_2 не менее 3 мм и угла $\alpha = 45-80^\circ$;

– выпуклость на донной части $h = 0,8-7-1,5$ мм;

– обеспечение припуска под выходным отверстием при сквозной прошивке.

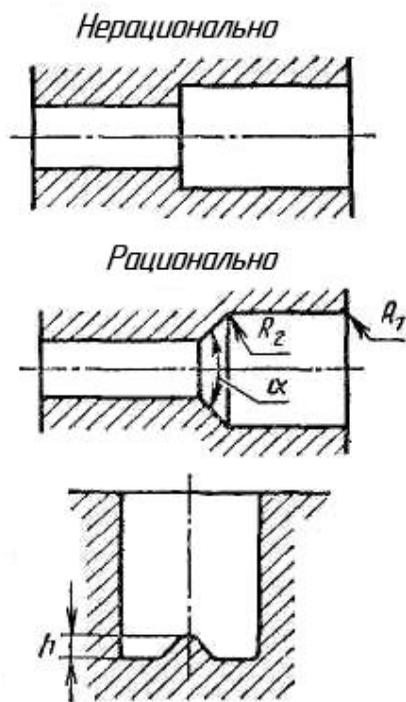


Рис. 2.5. Сквозные и глухие отверстия в деталях

Электроэрозионная обработка тонкостенных мембран (рис. 2.6).

Решаемая конструкторская задача: обеспечение стабильных эксплуатационных характеристик деталей.

Технологические возможности:

- получение перемычек толщиной $t \leq 0,5$ мм;
- точность изготовления пазов $\pm 0,05$ мм;
- ширина обрабатываемого паза до 1 мм;
- толщина обрабатываемых деталей до 0,2 мм;
- отсутствие заусенцев;
- возможность обработки деталей в пакете или составным многоэлементным электродом-инструментом.

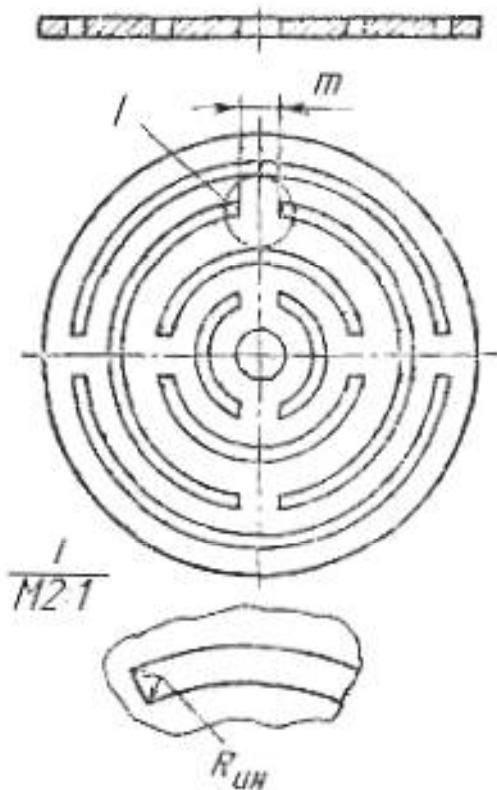


Рис. 2.6. Тонкостенная мембрана

Требования к конструкции деталей (см. рис. 5.6):

- обеспечение контактной поверхности для токоподвода;
- значение $R_{ин} < 0,2$ мм;
- стойкость материала детали к рабочей жидкости.

Электроэрозионная обработка фильтроэлементов, используемых в пневмогидравлических системах наукоемких изделий (рис. 2.7).

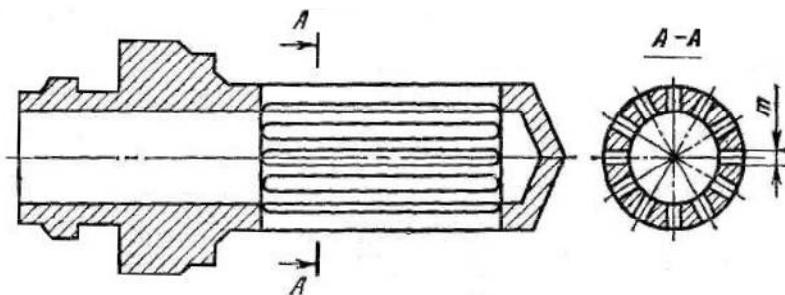


Рис. 2.7. Щелевой фильтр

Решаемая конструкторская задача: обеспечение эксплуатационных характеристик деталей.

Технологические возможности:

- получение ширины пазов $m \leq 1$ мм;
- точность изготовления пазов $\pm 0,05$ мм;
- длина пазов до 100 мм;
- шероховатость обработанной поверхности $Rz = 20\text{--}80$ мкм;
- отсутствие заусенцев;
- возможность получения пазов переменной ширины и глубины.

Требования к конструкции деталей (см. рис. 2.7):

- обеспечение контактных поверхностей для базирования, закрепления и токоподвода;
- коррозионная стойкость материала детали к рабочей жидкости;
- толщина перемычек между пазами не менее 0,5 ширины паза.

Электроэрозионная обработка сквозных и глухих отверстий малого диаметра (табл. 2.4). Решаемая задача: формирозование мелких отверстий в тонкостенных деталях.

Таблица 2.4

Электроэрозионная обработка сквозных и глухих
отверстий малого диаметра

Размеры отверстия, мм		Допуск, мм	Продолжительность процесса, с	
диаметр	глубина		Сталь	Бронза
0,02	0,2	0,002	90	15
0,03	0,3	0,003	120	20
0,035	0,2	0,003	130	25
0,04	0,3	0,005	240	30
0,05	0,3	0,005	180	45
0,08	0,2	0,01	30	10
	0,3	0,015	120	5
	0,5	0,02	135	15
0,1	1,0	0,01	75	—
0,15	0,65	0,01	25	—
0,2	1,0	0,01	35	—
0,25	1,0	0,01	40	—
0,3	2,0	0,02	130	—
	1,0	0,01	45	—
	2,0	0,02	150	—

Технологические возможности:

- изготовление перфорации на деталях толщиной до 0,3 мм;
- получение отверстий диаметром от 0,02 до 0,5 мм;
- отсутствие заусенцев на выходе из отверстий и в местах их пересечений;
- получение фасонных и прямоугольных не сквозных отверстий;

– многоэлектродная обработка деталей.

Требования к конструкции деталей:

– диаметр отверстий не более 0,5 мм, прямоугольные и фасонные отверстия площадью менее 1 мм²;

– наличие опорных поверхностей для крепления детали при обработке;

– глубина глухих отверстий не более 10 диаметров;

– коррозионная стойкость материала к рабочей жидкости.

2.4. Технологичность конструкции различных видов соединения деталей

При выборе вида соединения следует учитывать затраты труда, материалов и энергии на образование соединения конструктивных элементов и возможность использования тех видов соединений, которые ранее приняты и освоены в данных производственных условиях, обеспечены современными средствами технологического оснащения и обладают требуемыми технико-эксплуатационными характеристиками.

Требования к неразъемным соединениям. Конструкция неразъемного соединения должна разрабатываться с учетом ее влияния на производственную технологичность конструкции изделия. При выборе вида неразъемного соединения из числа соединений, обладающих равной прочностью, стойкостью к внешним воздействиям и т.п., следует предпочитать то соединение, которое может быть образовано при минимальных затратах ресурсов и является более рациональным технологически при выполнении операций контроля. При выборе материалов для формирования соединения необходимо учитывать возможное изменение их физико-механических характеристик в процессе образования соединений. Характеристики применяемых материалов и формы заготовок, как правило, должны быть такими, чтобы в результате выполнения соединительных

операций не возникала необходимость в дополнительных операциях обработки и контроля. В конструкции соединения следует исключать сложную и необоснованно точную обработку сопрягаемых поверхностей.

Требования к разъемным соединениям. Конструкция разъемного соединения должна разрабатываться с учетом ее влияния на производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность конструкции изделия. При выборе вида разъемного соединения из числа соединений, обладающих равными технико-эксплуатационными характеристиками, следует применять тот вид соединения, который требует наименьших затрат на выполнение операций монтажа и демонтажа в условиях производства, транспортирования, технического обслуживания и ремонта. В конструкции соединения следует использовать такие формы конструктивных элементов и материалы, которые позволяют формировать или расформировывать соединение минимальным числом операций монтажа и демонтажа и исключать при этом необходимость последующей дополнительной обработки элементов соединения и, как следствие, возможность снижения его надежности в эксплуатации.

2.5. Требования к технологичности конструкции при сборке энергетических установок и двигателей

Конструкция сборочной единицы должна удовлетворять требованиям изготовления, эксплуатации и ремонта наиболее производительными и экономичными способами при заданных условиях производства, эксплуатации и ремонта. Технологичность конструкции сборочной единицы рассматривается относительно всего изделия и его составных частей с учетом условий сборки, испытания, монтажа вне предприятия-изготовителя, технического обслуживания и ремонта.

Конструкция сборочной единицы отрабатывается на технологичность комплексно, учитывая взаимозависимость про-

изводственной, эксплуатационной и ремонтной технологичности составных частей сборочной единицы, а также изделия, в которое данная сборочная единица входит как составная часть. При обеспечении технологичности сборочных единиц следует учитывать их функциональное различие в составе изделия. Сборочные единицы могут быть составной частью изделия и не выполнять самостоятельных функций (например, корпус клапана с запрессованной втулкой) либо выполнять самостоятельные функции (например, редукционный клапан насоса в отдельном корпусе; насос в отдельном корпусе относительно двигателя и т.д.). Уровень технологичности конструкции определяют для всех сборочных единиц, для которых в техническом задании установлены базовые показатели технологичности. Состав показателей технологичности, используемых для отработки конструкции сборочной единицы и определения уровня ее технологичности, и состав базовых показателей должны полностью совпадать.

Требования к составу сборочной единицы. Сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегирования, а ее конструкция компоноваться из стандартных и унифицированных частей и исключать необходимость применения сложного технологического оснащения. Виды используемых соединений, их конструктивное оформление и месторасположение выбирают с учетом требований механизации и автоматизации сборочных работ. Так, в конструкции сборочной единицы и ее составных частей, имеющих массу более 16 кг, необходимо наличие конструктивных элементов для удобного захвата грузоподъемными средствами, используемыми в процессе сборки, разборки и транспортирования.

В конструкции сборочной единицы предусматривается базовая составная часть, которая является основой для расположения остальных составных частей изделия. Форма базовой составной части должна быть удобной для правильной установки ее на рабочем месте сборки: в стапеле, приспособлении,

на рабочем столе, сборочной площадке. В конструкции базовой составной части необходимо предусматривать возможность использования конструкторских баз в качестве технологических и измерительных. Компоновка конструкции сборочной единицы должна обеспечивать сборку изделия при неизменном базировании составных частей и исключать их промежуточные разборки и повторные сборки.

В компоновке составных частей сборочной единицы предусматривают удобный доступ к местам, требующим контроля, регулирования и проведения других работ, регламентированных технологией подготовки изделия к использованию по назначению, технического обслуживания и ремонта. Компоновка сборочной единицы и способы соединений должны обеспечивать легкоосъемность быстросменных составных частей. При выборе компоновки сборочной единицы необходимо предусматривать рациональное расположение такелажных узлов, монтажных опор и других устройств для обеспечения транспортабельности изделия.

Число поверхностей и мест соединений составных частей должно быть по возможности минимальным, а места соединений составных частей доступными для механизации сборочных работ и контроля качества соединений.

Требования к точности и методу сборки. Точность расположения составных частей должна быть обоснована и взаимосвязана с точностью их изготовления. Метод сборки для данного объема выпуска и типа производства выбирают на основании расчета и анализа размерных цепей. Расчет размерных цепей следует проводить, используя метод максимума-минимума или вероятностный. Метод максимума-минимума применяют при расчете коротких размерных цепей (с числом звеньев менее пяти) с высокой точностью замыкающего звена или многозвенных размерных цепей с малой точностью замыкающего звена. При выборе метода сборки следует учитывать трудоемкость изделия в сборочных работах и затраты на изготовление составных частей с точностью, необходимой для

данного метода сборки. Методы сборки располагаются по убывающей производительности труда сборочных работ в следующем порядке: с полной взаимозаменяемостью; с неполной взаимозаменяемостью; с групповой взаимозаменяемостью; с регулированием компенсаторами; с пригонкой.

В конструкции необходимо предусматривать устройства, обеспечивающие заданную точность относительного расположения составных частей (центрирующие, фиксирующие, компенсирующие и др.). Пределы регулирования и параметры компенсаторов рассчитывают на основе теории размерных цепей. Компенсирующие, центрирующие и фиксирующие устройства должны иметь простую конструкцию и свободный доступ для рабочего и контрольного инструментов.

Требования к конструкции при автоматизированном процессе сборки. При разработке сборочной единицы необходимо стремиться к простоте ее конструкции, блочности построения, возможности присоединения деталей к базовой простейшим движением (по возможности вдоль одной оси), обеспечению полной взаимозаменяемости деталей по сопрягаемым поверхностям, выполнению точностных требований к деталям для осуществления правильного их базирования, возможности автоматического ориентирования и загрузки деталей. Технологичность конструкции сборочной единицы определяется возможностью узловой последовательной сборки, технологичностью видов соединений и точностными показателями. При этом технологичность конструкции детали рассматривается по группе признаков, характеризующих устойчивость формы и поверхности деталей к различным воздействиям, удобство ориентирования и загрузки, возможность базирования и собираемость. Конструкция изделия, подвергаемого *контролю и испытанию* должна обладать следующими свойствами:

– быть доступной для подхода к элементам, подвергаемым контролю или испытаниям, и для применения технических средств, соответствующих целям и задачам контроля и испытаний;

– быть рациональной с точки зрения членения конструкции на зоны (места) контроля и испытания, обеспечения преемственности методов контроля и испытаний, испытательного оборудования и контролирующей аппаратуры, а также возможности применения средств механизации и автоматизации процессов контроля и испытания;

– обеспечивать возможность полной или частичной имитации условий эксплуатации при проведении контроля и испытаний при сборке энергетических установок и двигателей.

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие прогрессивных материалов. Примеры.
2. Виды и область использования металлозаменителей в конструкции наукоемкого изделия.
3. Какие технологии относятся к прогрессивным методам формообразования материалов?
4. Назовите широко известные методы нетрадиционной обработки труднообрабатываемых материалов.
5. Каким образом обеспечивается производственная технологичность конструкции детали?
6. В чем заключается обеспечение технологичности конструкции в механообрабатывающем производстве?
7. Приведите основные требования к деталям, обрабатываемым ЭЭО и ЭХО.
8. Из чего складывается обеспечение технологичности конструкции соединения деталей?
9. Объясните, в чём различие требований к неразъемным и разъемным соединениям?
10. Приведите основные направления обеспечения технологичности конструкции сборочной единицы изделия.

3. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

3.1. Основные этапы работ по обеспечению технологичности конструкции изделия

При организации процессов разработки конструкции изделия учитывается взаимосвязь этих процессов с другими сферами формирования и проявления конструктивно-технологических особенностей исполнения изделия, включая сферы научных исследований и разработки новых процессов, технологических методов и средств, а также сферы изготовления, эксплуатации и ремонта изделия (рис. 3.1).

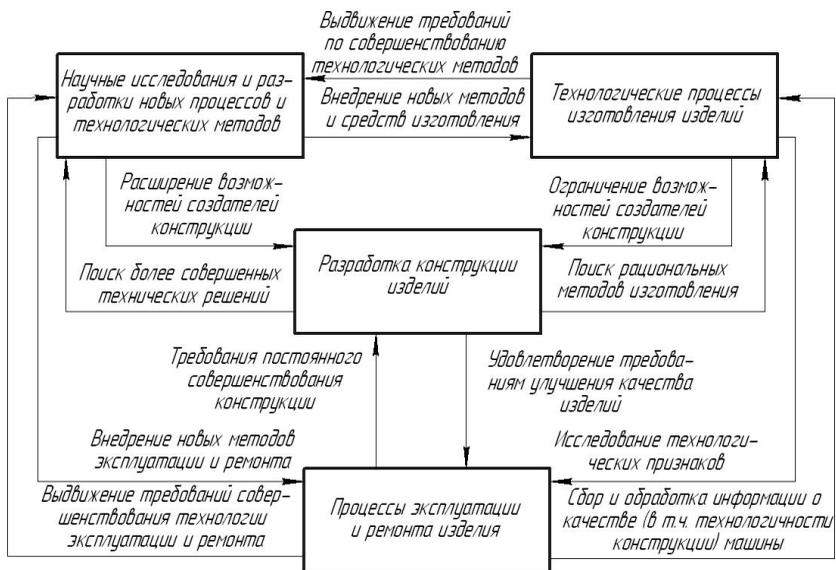


Рис. 3.1. Структура взаимосвязи процессов разработки конструкции изделия со сферами проявления ее свойств

Определяющие конструкторско-технологические решения по изделию и обеспечению технологичности его конструкции формируются в процессе разработки конструкторской документации при выполнении технического предложения, эскизного и технического проектов. Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия на стадиях его разработки и освоения приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основное содержание работ по обеспечению ТКИ по стадиям разработки конструкторской документации

Стадии разработки конструкторской документации	Основное содержание работ по обеспечению ТКИ
1	2
Техническое предложение	<p>Выявление вариантов конструктивных решений, имеющих лучшие предпосылки для рационального членения и компоновки изделия.</p> <p>Выявление возможности заимствования составных частей изделия. Выявление новых материалов, технологических процессов и средств технологического оснащения.</p> <p>Расчет показателей технологичности вариантов конструкции изделия. Выбор окончательного варианта конструктивного решения и (или) компоновки основных составных частей изделия.</p> <p>Технологический контроль конструкторской документации.</p>
Эскизный проект	<p>Анализ соответствия компоновок и членения вариантов конструкции изделия условиям производства, испытаний, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.</p> <p>Сопоставление вариантов конструкции изделия по унификации, стандартизации, точности расположения</p>

Продолжение табл. 3.1

1	2
	<p>и способам соединения составных частей изделия. Расчет показателей технологичности вариантов конструкции изделия. Выбор вариантов конструкции изделия для дальнейшей разработки. Технологический контроль конструкторской документации.</p>
Технический проект	<p>Определение возможности параллельной и независимой сборки и контроля специфицированных составных частей изделия. Анализ соответствия конструкции и компоновки сменных и требующих технического обслуживания составных частей изделия требованиям технического обслуживания и ремонта. Выявление возможности применения покупных, стандартных, унифицированных или освоенных производством составных частей изделия. Анализ возможности применения новых, в том числе типовых и групповых высокопроизводительных технологических процессов. Расчет показателей ТКИ. Принятие основных принципиальных решений по ТКИ и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте. Технологический контроль конструкторской документации.</p>
Рабочая конструкторская документация а) опытного образца (опытной партии) или изделия единичного производства)	<p>При разработке проводятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ возможности сборки изделия и его составных частей без промежуточных разборок; – выбор рациональных способов фиксирования, центрирования и регулирования составных частей изделия; – определение доступности и легкосъемности сменных и требующих технического обслуживания и ремонта составных частей изделия; – выявление возможности унификации сборочных единиц.

1	2
	<ul style="list-style-type: none"> – единиц и их конструктивных элементов; – деталей (включая детали крепежа) и их конструктивных элементов; – установление экономически целесообразных методов получения заготовок; – поэлементная обработка конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность; – расчет показателей ТКИ; – технологический контроль конструкторской документации. <p>При изготовлении и испытании проводятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проверка соответствия членения конструкции организационной структуре предприятия-изготовителя; – проверка соответствия конструкции деталей рациональным способам получения заготовок и их обработки; – проверка соответствия заданной точности изготовления изделия технический данным средств технологического оснащения; – проверка применимости нормальных рядов размеров, стандартного режущего и измерительного инструмента; – проверка возможности использования конструкторских баз в качестве технологических и их увязка; – проверка возможности сокращения обрабатываемых поверхностей, совмещения деталей; – проверка удобства и быстроты регулировки расположения составных частей изделия; – проверка возможности контроля, в том числе контроля технического состояния, диагностики, доступа к составным частям при изготовлении, обслуживании и ремонте; – проверка возможности замены составных частей

1	2
<p>б) серийного (массового) производства</p>	<ul style="list-style-type: none"> – изделия другими такими же частями при сохранении установленного качества изделия в целом; – проверка возможности и удобства установки и съема составных частей изделия при его изготовлении, обслуживании и ремонте, а также монтажа и демонтажа составных частей изделия; – проверка возможности восстановления геометрических характеристик и качества поверхностей деталей; – проверка соответствия технологичности конструкции требованиям ремонтпригодности и транспортабельности; – анализ технологичности опытного образца; – расчет показателей технологичности после отработки конструкции при изготовлении и испытании опытного образца; – корректировка и технологический контроль конструкторской документации с учетом предложений об изменении, выявленных при анализе технологичности опытного образца <p>Окончательное принятие решений по совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте и фиксация этих решений в технологической документации.</p> <p>Окончательная отработка конструкции изделия в период изготовления, испытания и оснащения технологического процесса изготовления установочной серии. Доведение конструкции изделия до соответствия требованиям: серийного производства с учетом применения наиболее производительных технологических процессов и средств технологического оснащения при изготовлении изделия и его основных составных частей;</p>

1	2
	<p>существующей и создаваемой системы обслуживания, диагностирования, ремонта, монтажа вне предприятия-изготовителя, транспортирования и хранения с учетом применения прогрессивных технологических процессов и средств технологического оснащения при подготовке изделия к применению по назначению, обслуживании, ремонте, монтаже вне предприятия-изготовителя, диагностировании, транспортировании и хранении.</p> <p>Оценка соответствия достигнутого уровня технологичности требованиям технического задания.</p> <p>Корректировка конструкторской документации.</p> <p>Оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности путем проведения испытаний или организации сбора данных о технологичности изделия в процессе эксплуатации и ремонта.</p>

3.2. Обеспечение технологичности конструкции изделия в системе подготовки производства

Обеспечение ТКИ является, наряду с разработкой и освоением новых технологических процессов и средств технологического оснащения, одной из основных функций технологической подготовки производства. Согласно ГОСТ Р 50995.3.1-96 организатором и ответственным исполнителем работ по формированию определяющих технологических и организационных решений по производству серийных изделий, а также при необходимости специализированные технологические организации.

Разработчик в соответствии с планами-графиками разработки технического предложения, эскизного и технического проектов представляет проектную конструкторскую документацию (комплектно на изделие или по мере готовности на

сложные элементы изделия) для совместной проработки со специалистами-технологами разработчика, изготовителя и, в необходимых случаях, специализированных технологических организаций.

Типовая схема организации технологической подготовки производства (ТПП) при технологическом обеспечении создания продукции приведена на рис. 3.2.

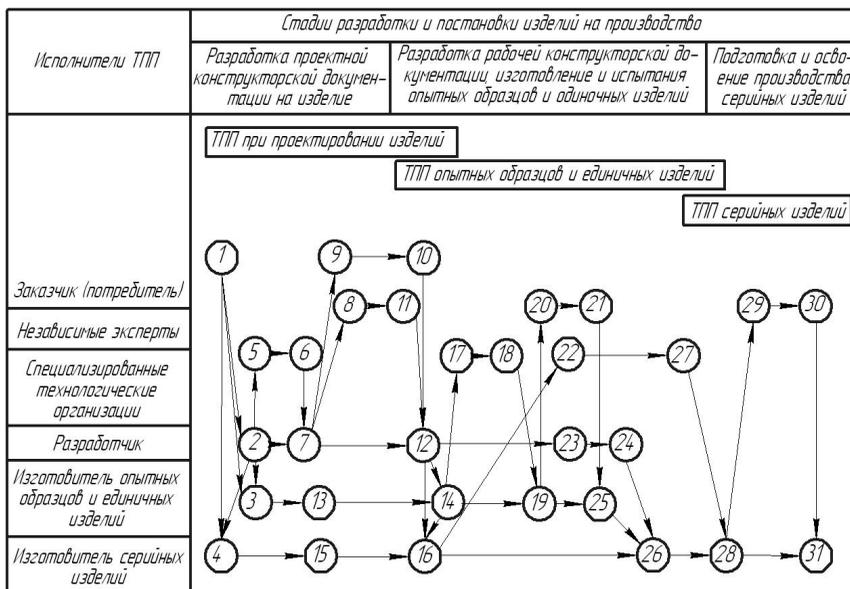


Рис. 3.2. Типовая схема организации ТПП при технологическом обеспечении производственной ТКИ

Технологическая проработка в рамках ТПП (с учетом уточнений и корректировки ее результатов на последующих этапах проектирования), в частности, предусматривает:

- оценку сформированных при проектировании конструкторско-технологических решений с точки зрения их технологичности, реализуемости в производстве и конкурентоспособности;

– выявление определяющих проблем, связанных с разработкой и освоением принципиально новых или ранее не освоенных у изготовителей технологических и организационных решений, материалов (сырья, заготовок, полуфабрикатов) и средств технологического оснащения;

– укрупненную оценку контролируемости, материалоемкости, трудоемкости, себестоимости изделия при его изготовлении и другие работы.

Основное содержание работ по технологическому обеспечению создания продукции показано в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Содержание работ типовой схемы организации ТПП при технологическом обеспечении ТКИ

Исполнители	Содержание работ
1	2
Заказчик (потребитель)	1 → 2 – Выбор разработчика изделия 1 → 3 – Выбор (участие в выборе) изготовителя единичных изделий 1 → 4 – Выбор (участие в выборе) изготовителя серийных изделий 9 → 10 – Оценка определяющих технологических и организационных решений по производству изделия 10 → 12 – Передача разработчику результатов оценки
Независимые эксперты	8 → 11 – Оценка определяющих технологических и организационных решений по производству изделия 11 → 2 – Передача разработчику результатов оценки 20 → 21 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению 21 → 25 – Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий и результатов оценки 29 → 30 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению 30 → 31 – Передача изготовителю серийных изделий результатов оценки

1	2
Специализированные технологические организации	5 → 6 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия 6 → 7 – Передача разработчику результатов работ по ТПП 17 → 18 – Участие в выполнении работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий 18 → 19 – Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий результатов работ по ТПП 22 → 27 – Участие в выполнении работ по ТПП серийных изделий 27 → 28 – Передача изготовителю серийных изделий результатов работ по ТПП
Разработчик	12 → 16 – Передача изготовителю серийных изделий конструкторской и технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП наукоёмких изделий 12 → 23 – Участие в выполнении работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий 23 → 24 – Участие в оценке технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний наукоёмких изделий 24 → 26 – Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП конструкторской и технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов наукоёмких изделий 3 → 2 – Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия 3 → 13 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия 13 → 14 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству

1	2
	<p>14 → 16 – Передача изготовителю серийных изделий технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее сложных и трудоемких работ п</p> <p>14 → 17 – Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>14 → 19 — Организация и выполнение работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>19 → 20 – Организация независимой оценки технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>19 → 25 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>25 → 26 – Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов</p> <p>4 → 2 – Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>4 → 15 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>15 → 16 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p>
Изготовитель опытных	<p>3 → 2 – Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>3 → 13 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p>

1	2
образцов и единичных изделий	<p>13 → 14 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству</p> <p>14 → 16 – Передача изготовителю серийных изделий технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее трудоемких работ по ТПП</p> <p>14 → 17 – Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>14 → 19 — Организация и выполнение работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>19 → 20 – Организация независимой оценки технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>19 → 25 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>25 → 26 – Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов</p> <p>4 → 2 – Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>4 → 15 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>15 → 16 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству</p>
Изготовитель	16 → 22 – Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП серийных изделий

1	2
серийных изделий	16 → 26 – Организация и начало выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП серийных изделий 26 → 28 – Выполнение и завершение работ по ТПП серийных изделий 28 → 31 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий

Вопросы для самоконтроля

1. Покажите структуру взаимосвязи процессов разработки конструкции изделия со сферами проявления ее свойств.
2. Виды и основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия на стадиях его разработки и освоения.
3. Приведите типовую схему организации технологической подготовки производства при технологическом обеспечении создания продукции и содержание работ?
4. Каким образом обеспечивается производственная технологичность конструкции наукоемкого изделия в технологической подготовке производства?
5. В чем роль изготовителя опытных образцов изделий в обеспечении производственной технологичности конструкции при технологической подготовке производства?
6. Кто проводит на этапе технологической подготовки производства укрупненную оценку контролируемости, материалоемкости, трудоемкости, себестоимости наукоемкого изделия при его изготовлении?
7. Из чего складывается обеспечение технологичности конструкции при технологической подготовке производства?

4. ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

4.1. Основные понятия и положения

Показатели производственной технологичности конструкции входят в группу ресурсосберегающих показателей качества, характеризуют его свойства, определяющие приспособленность конструкции к достижению оптимальных затрат, значений показателей качества продукции, объема ее выпуска и условий выполнения работ.

Показатели ТКИ не следует смешивать с показателями ресурсоемкостью рабочего процесса изделия, также входящими в группу ресурсосберегающих показателей качества, представленных на рис. 4.1.

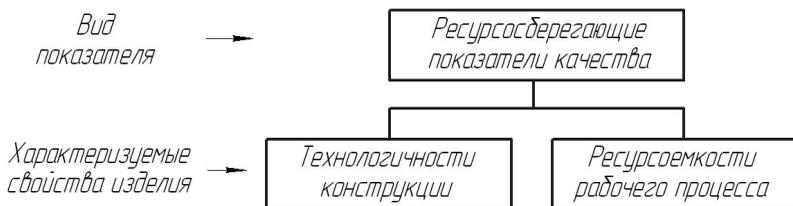


Рис. 4.1. Структура ресурсосберегающих показателей качества наукоемких изделий

Показатели ресурсоемкости рабочего процесса характеризуют свойства изделия, определяющие экономичность его функционирования (потребления), т.е. эффективность использования ресурсов (энергии, труда, материалов, времени), необходимых для непосредственного использования изделия по назначению.

К таким показателям можно отнести следующие:

– коэффициент полезного действия агрегата или изделия в целом;

- удельный расход электроэнергии;
- удельный расход топлива и т.д.

Основные количественные показатели ТКИ и характеризующие ими свойства приведены на рис. 4.2.

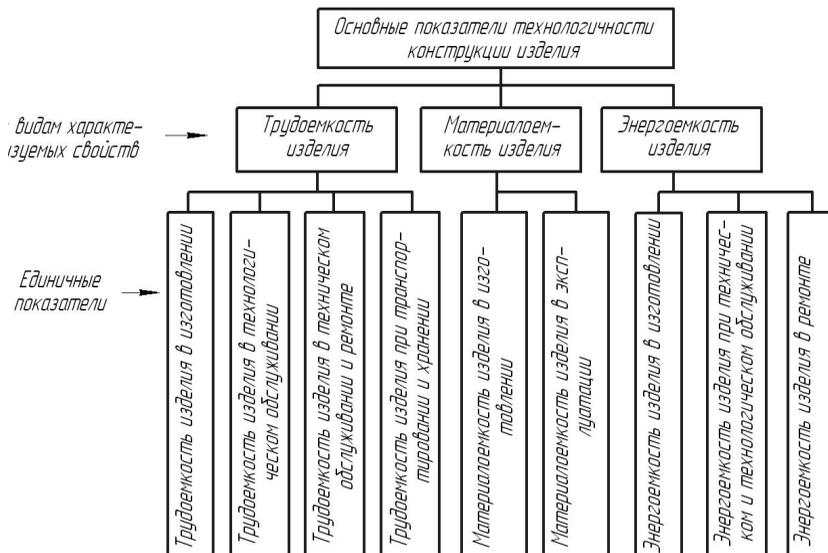


Рис. 4.2. Основные количественные показатели ТКИ и характеризующие ими свойства

Наряду с этими тремя группами единичных показателей к основным показателям относят показатели технологической себестоимости изделия, характеризующие затраты различных видов ресурсов комплексно в стоимостном выражении.

4.2. Технологическая трудоемкость

Трудоемкость изделия, как показатель ТКИ, характеризует количество труда, затрачиваемого на одно изделие с учетом его конструктивных особенностей в сферах производства, эксплуатации и ремонта. Разновидностями этого

показателя, определяемыми затратами труда в конкретных областях проявления ТКИ, является трудоемкость изделия: в технической подготовке производства (ТПП), в изготовлении, техническом обслуживании (ТО), ремонте, утилизации и общая трудоемкость изделия. При сравнительном анализе вариантов конструкции наукоемкого изделия необходимо обеспечивать выполнение следующих требований:

- существующие или предполагаемые условия выполнения работ в производстве, эксплуатации и ремонте для сравниваемых вариантов конструкции должны быть одинаковыми или приведены к одинаковому организационно-техническому уровню;

- технологические процессы выполнения работ во всех сферах их реализации должны быть прогрессивными, т.е. соответствовать лучшим показателям действующей системы их аттестации;

- сравниваемые варианты конструкции должны иметь примерно равные абсолютные, а также удельные массы, однотипную характеристику применяемых материалов;

- трудоемкость изделий анализируемых конструктивных исполнений должна быть тем меньше, чем меньше их масса;

- значения показателей трудоемкости изделия следует определять одним и тем же методом.

В случае невозможности принятия однозначного решения по конструкции на основе данных о трудоемкости наукоемкого изделия требуется обязательное применение других показателей ресурсоемкости. На практике показатель трудоемкости наукоемкого изделия чаще всего применяют совместно с показателем материалоемкости. Основные конструкторские документы и информационные данные, необходимые для определения трудоемкости наукоемкого изделия, а также методы учета конструктивно-технологических особенностей изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации приведены в табл. 10.

Таблица 4.1

Информация и методы, используемые для определения
трудоемкости изделия

Стадия разработки конструкторской документации	Конструкторские документы для расчета трудоемкости изделия	Информация, получаемая из конструкторского документа	Методы учета конструктивно-технологических особенностей, определяющих трудоемкость изделия
Техническое предложение	Ведомость технического предложения; пояснительная записка; схемы	Масса изделия; параметры назначения; число элементов	Метод учета масс; метод удельного нормирования; метод элементокоэффициентов
Эскизный проект Технический проект	Чертеж общего вида; теоретический чертеж; габаритный чертеж; ведомость эскизного (технического) проекта; схемы	Масса изделия; параметры назначения; число составных частей; число элементов	Метод учета масс; метод удельного нормирования; метод учета сложности; метод элементокоэффициентов
Рабочая конструкторская документация	Чертеж детали; сборочный чертеж; спецификация; ведомость спецификаций; технические условия	Масса изделия; масса деталей; число деталей, технические требования; число сборочных единиц	Метод учета масс; метод удельного нормирования; метод учета сложности; метод учета значимости составных частей; моделирование трудоемкости на основе корреляционно-регрессионного анализа

В настоящее время для прогнозирования приемлемого уровня технологичности перспективной наукоёмкой техники, например ракетных двигателей, изготавливаемых большей частью в сжатые сроки, малыми сериями и в единичных экземплярах, используется эмпирическая формула укрупненного определения трудоемкости изготовления ракетных двигателей и их сборочных единиц, которая может быть представлена в общем виде:

$$T_N = A m_g^B \cdot P_a^{-C} \cdot n_{kc} \cdot K_T N^D, \quad (1)$$

где T_N – трудоемкость изготовления N-го образца двигателя;

m_g – масса «сухого» двигателя;

P_a – давление на срезе камеры сопла;

n_{kc} – количество камер сгорания одного двигателя;

K_T – безразмерный коэффициент, учитывающий тип топлива;

N – порядковый номер двигателя от начала изготовления первого опытного образца;

A, B, C, D – эмпирические статистические коэффициенты.

После анализа весомости и достоверности элементов выражения (1), становится очевидным, что такая методика, основанная на обработке статистических данных величин трудоемкости предшествующих изделий-аналогов, позволяет провести достаточно достоверную оценку величины затрат тех двигателей, которые имеют достаточно высокую степень преемственности конструкторско-технологических решений.

Это обстоятельство требует избирательного учета при создании новых изделий, имеющих значительную долю оригинальных конструкторских разработок, таких вспомогательных показателей производственной технологичности как *коэффициент оснащенности*, и таких понятий, как специализация технологических процессов и средств технологического оснащения (в том числе организация специализированных участков).

В таком случае выражение для прогнозирования трудоемкости конкретного опытного образца нового двигателя будет выглядеть следующим образом

$$T_N = A m_g^B \cdot P_a^{-C} \cdot n_{kc} \cdot K_T N^{-D} + T_{mnp}^E \cdot K_{oN}, \quad (2)$$

где T_{mnp} – трудоемкость технического дооснащения (реконструкции) производства при создании двигателя;

K_{oN} – коэффициент оснащенности порядкового номера двигателя от начала изготовления первого опытного образца;

E – эмпирический коэффициент, учитывающий объем выпуска опытных образцов одного наименования.

Здесь

$$K_{oN} = N_o / N_d,$$

где N_o – количество наименований специальной технологической оснастки, спроектированной и изготовленной для ТПП нового двигателя в дополнение к стандартизованным средствам технологического оснащения;

N_d – количество наименований оригинальных деталей, спроектированных для нового двигателя.

При этом, коэффициент оснащенности постоянно увеличивается по времени в течении всего жизненного цикла изделия нового наукоемкого изделия.

Из выражения (2) следует, что значительный вес в трудоемкости имеет технологическая подготовка производства, которая при создании опытного образца не заканчивается как обычно в момент запуска материальной части, а требует дополнения ввиду постоянного уточнения КД в процессе создания первого двигателя, являющегося, как правило, и одновременно комплексным макетом для подготовки стендов натурных испытаний.

В этом аспекте затраты на освоение нетрадиционных наукоемких технологий, например комбинированных, намного меньше, чем на приобретение дополнительного высокоточного традиционного оборудования, реконструкцию и расширение производственных участков, изготовление трудоемкой штамповой оснастки, литейных пресс-форм, проведение

повторных испытаний и ручных работ по доводке, пригонке, компенсации нестыковок и т.п.

4.3. Конструктивно-технологическая материалоемкость

Материалоемкость изделия как показатель ТКИ характеризует количество материальных ресурсов, необходимых для создания и применения одного изделия с учетом его конструктивных особенностей в сферах производства, эксплуатации и ремонта. Разновидностями этого показателя, определяемыми затратами материалов в конкретных областях проявления:

- материалоемкость изделия в ремонте;
- общая материалоемкость изделия (рис. 7.3).

Как правило, показателями ТКИ не могут быть масса изделия, определяемая совокупностью масс деталей и сборочных единиц, входящих в изделия и удельная масса изделия, определяемая отношением его сухой массы к или к полезному эффекту, получаемому при использовании изделия по его назначению.

Эти показатели характеризуют степень технического совершенства и рациональность конструкторского замысла наукоемкого изделия значительно больше, чем его технологическую рациональность конструкции, изменяя ее габаритные размеры, число составных частей и покупных изделий, свойства применяемых материалов и т.п.

При разработке направлений моделирования и определения моделей ТКИ масса только косвенно выступает в качестве характеристики технологичности через материалоемкость, трудоемкость и себестоимость изделия в изготовлении. Наряду с применением абсолютных значений материалоемкости наукоемкого и изделия это понятие используют и в качестве *удельной материалоемкости*.

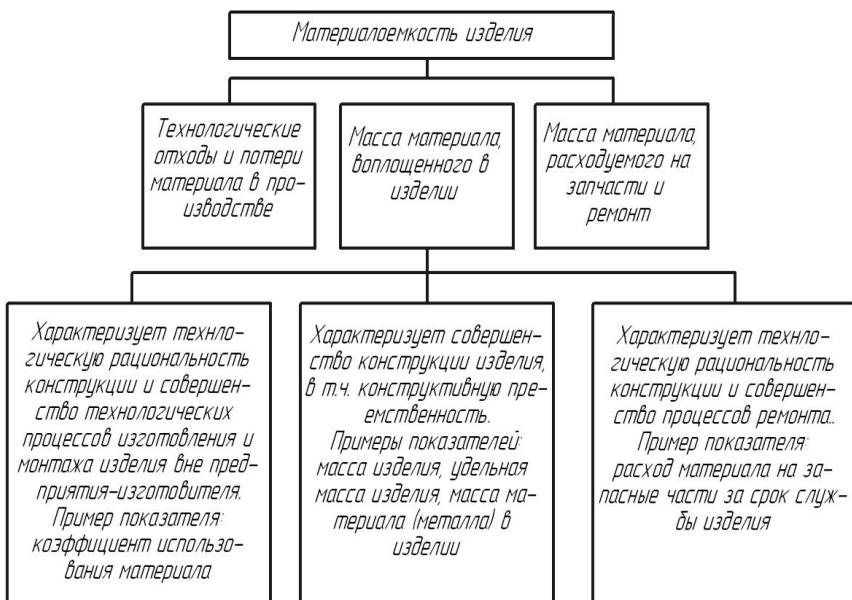


Рис. 4.3. Структурные составляющие расхода материалов на изделия машиностроения

Удельную *производственную материалоемкость* наукоемкого изделия в общем случае рассчитывают по формуле

$$M_{\text{п}}^{\text{уд}} = M_{\text{п}} / (P_{\tau}). \quad (3)$$

где $M_{\text{п}}$ – расход материала на изготовление изделия;

τ – установленный срок службы изделия;

P – номинальное значение основного параметра изделия или полезный эффект от его использования, определяемые по результатам научных исследований для конкретных видов изделий.

Выбранные характеристики и параметры должны удовлетворять условию тесной связи с параметром, характеризующего потребительские свойства. Учет ресурса работы

изделия обеспечивает более объективный подход к определению материальных затрат. Введение в формулу (3) параметра τ дает возможность при необходимости количественно обосновать увеличение расхода материала на изделие для увеличения ресурсных показателей. Чем ниже значение показателя $M_{\text{п}}^{\text{уд}}$, тем выше уровень ТКИ.

Удельную эксплуатационную материалоемкость изделия в общем случае рассчитывают по формуле

$$M_3^{\text{уд}} = M_3 / (P_{\tau}). \quad (4)$$

где M_3 – расход материала на эксплуатацию изделия, определяемый суммированием норм расхода материала на составные части изделия (детали и сборочные единицы), сменяемые за полный срок его службы.

Показатели $M_{\text{п}}^{\text{уд}}$ и $M_3^{\text{уд}}$ должны иметь одинаковую размерность для определения общей удельной материалоемкости изделия:

$$M^{\text{уд}} = M_{\text{п}}^{\text{уд}} + M_3^{\text{уд}}. \quad (5)$$

При достаточно малом значении $M_3^{\text{уд}}$ (например, не превышает 10% от $M_{\text{п}}^{\text{уд}}$) практически можно допустить, что $M^{\text{уд}} = M_{\text{п}}^{\text{уд}}$. Оценка эксплуатационной ТКИ по материалоемкости обязательна при сопоставимости значений $M_{\text{п}}^{\text{уд}}$ и $M_3^{\text{уд}}$ т.е. при $M_3^{\text{уд}} \geq 0,1M_{\text{п}}^{\text{уд}}$.

При необходимости конкретизировать вид определяющих материальных затрат (металл, дерево, пластмасса и т.п.) целесообразно оценивать отдельные свойства изделия, такие, как металлоемкость, пластмассоемкость и др., соответствующими удельными показателями, которые можно определить, используя формулы (3)-(5).

Анализ показателей удельной материалоемкости (иногда массы) изделия позволяет установить на всех стадиях разработки конструкторской документации общее направление лучшего использования материалов. Иногда для этого целесообразно использовать дополнительные показатели ТКИ, связанные с унификацией и рациональным использованием материалов. Для оценки материалов используют коэффициент

применяемости материала

$$K_{\text{пр.м}} = M_{\text{ни}} / M_{\text{и}},$$

где $M_{\text{ни}}$ – норма расхода i -го материала данной марки и (или) профиля на изготовление изделия; $M_{\text{и}}$ – норма расхода всех материалов на изготовление изделия.

Учет коэффициента $K_{\text{пр.м}}$ позволяет применять в перспективе прогрессивные марки и профили, обеспечивая при этом необходимый баланс потребности в материалах. Применяемость материала целесообразно регламентировать для изделия в целом.

Пример такой регламентации приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Нормы расхода и применяемости материалов на изделие

Материал	$M_{\text{ни}}$, кг	$K_{\text{пр.м}}$
Отливки из серого чугуна	698,3	0,101
Отливки из ковкого чугуна	378,9	0,055
Отливки из стали	47,1	0,007
Отливки из алюминия	19,9	0,003
Листовой прокат	2225,8	0,323
Сталь сортовая	1745,6	0,254
Стальные ленты, полосы	196,7	0,028
Трубы стальные	363,9	0,053
Крепежные детали	127,9	0,019
Покупные и прочие материалы	1076,9	0,157

Сумма значений коэффициентов $K_{пр.м}$, для всех материалов

$$\sum_{i=1}^I K_{пр.ми} = I.$$

Анализ применимости материалов должен совпадать с работами по контролю рационального использования в конструкторской документации ограничительных номенклатур марок материалов, профилей и размеров проката. Соответствие достигнутых показателей $K_{пр.м}$ заданным (базовым) проверяют при нормоконтроле.

Для оценки степени рационального использования материалов применяют *коэффициент использования материала*

$$K_{им} = M_i / M_{иi},$$

где $M_{иi}$, – номинальное значение массы i -го материала в изделии.

Введение показателя $M_{иi}$ означает, что уже на стадиях разработки конструкции наукоемкого изделия должна производиться объективная и достоверная оценка не только самой конструкции изделия, но и технологического процесса предполагаемого производства.

Коэффициент использования материала, по существу, является показателем совершенства технологии производства и может применяться для оценки ТКИ в случаях невозможности установления для изделий значений полезного эффекта или основного технического параметра, а также изделий, являющихся самостоятельными деталями (например, болт, штифт, гаечный ключ и др.).

Во всех случаях, когда для изделий можно установить значения полезного эффекта или основного технического параметра, ТКИ следует оценивать по удельным показателям материалоемкости, наиболее полно характеризующим технологическую рациональность конструкции по затратам материала в производстве и эксплуатации изделия.

Результаты оценки ТКИ по материалоемкости могут быть использованы для совершенствования условий выпол-

нения работ в сферах проявления ТКИ осуществлением таких мероприятий, как:

- разработка новых и совершенствование известных конструкционных материалов;

- создание и применение прогрессивных технологических процессов изготовления, включая выбор рационального способа получения заготовок, повышение качества и точности изготовления, применение рационального раскроя, использование отходов;

- повышение надежности конструкции, внедрение в конструкторские работы расчетов на прочность;

- улучшение условий эксплуатации изделий их рационализацией, обеспечением сохранности изделий, нормирование (сокращение) расхода запчастей;

- создание и применение рациональных методов контроля и испытания материалов с учетом контролепригодности конструкции по материалоемкости;

- многоразовое использование наукоемкого изделия, в т. ч. с заменой некоторых его составных частей;

- вторичное использование изделия и его составных частей.

В табл. 4.3 приведены основные конструкторские документы и информация, используемые для определения материалоемкости изделия, а также методы учета конструктивно-технологических особенностей изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации.

4.4. Этапы создания изделия и их энергоемкость

Энергоемкость изделия как показатель ТКИ характеризует количество топливно-энергетических ресурсов, необходимых на одно изделие с учетом его конструктивных особенностей при производстве, эксплуатации и ремонте.

Таблица 4.3

Информационные ресурсы и методы, используемые для определения материалоемкости изделия

Стадия разработки конструкторской документации	Конструкторские документы для расчета материалоемкости изделия	Информация, получаемая из конструкторского документа	Методы учета конструктивно-технологических особенностей, определяющих материалоемкость изделия
Техническое предложение	Ведомость технического предложения; пояснительная записка;	Масса изделия; параметры назначения; число элементов	Методы: аналогий; учета масс; удельного нормирования; учета значимости составных частей
Эскизный проект	Чертеж общего вида	Масса изделия	То же
Технический проект	Теоретический чертеж; габаритный чертеж; ведомость технического проекта	Параметры назначения; число составных частей; число элементов	Метод учета сложности конструкции изделия
Рабочая конструкторская документация опытного образца (опытной партии)	Чертежи; спецификация; ведомость спецификаций; технические условия	Масса изделия и деталей; число деталей; число сборочных единиц; материал детали	То же
Рабочая конструкторская документация серийного (массового) производства	То же	То же и технические требования	Укрупненные методы расчета недопустимы; следует брать результаты технологического проектирования

Разновидностями показателя, определяемыми затратами топлива и энергии в конкретных областях проявления ТКИ, являются:

- энергоемкость изделия в изготовлении;
- энергоемкость изделия в техническом обслуживании;
- энергоемкость изделия в ремонте;
- энергоемкость изделия в утилизации;
- общая энергоемкость изделия.

Понятие энергоемкости изделия не следует смешивать с понятием экономичности энергопотребления, характеризующей степень технического совершенства и рациональности конструкторского замысла по уровню потребляемых видов топлива и (или) энергии в процессе работы изделия по назначению (например, КПД, удельная тяга жидкостного реактивного двигателя и др.).

В зависимости от вида топлива и энергии (электроэнергия, топливо, пар, вода, газ и т.п.), потребляемых на производство, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию, различают показатели энергоемкости по каждому виду топлива и энергии: электроемкость, нефтеемкость и др.

Суммарную энергоемкость изделия определяют, складывая затраты топлива и энергии последовательно укрупняя элементы затрат (например, технологическая операция, процесс изготовления детали, процесс изготовления всего изделия в целом):

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} (\mathcal{E}_{ij}^{(1)} + \mathcal{E}_{ij}^{(2)} + \mathcal{E}_{VTij}),$$

где i – число сборочных единиц в изделии;

J_i – число деталей (частей) в i -й сборочной единице;

$\mathcal{E}_{ij}^{(1)}$ – количество расходуемого топлива и энергии на изготовление j -й детали i -й сборочной единицы;

$\mathcal{E}_{ij}^{(2)}$ – количество расходуемых вторичных энергетических ресурсов на изготовление j -й детали i -й сборочной единицы, поступающих от других технологических процессов;

$\mathcal{E}_{\text{вт}ij}$ – количество вторичных энергетических ресурсов, не используемых за пределами данного технологического процесса.

При расчете суммарной энергоемкости изделия, учитывающей затраты всех энергоресурсов, ведут пересчет на условное топливо, т.е. топливо с теплотой сгорания 29 300 кДж/кг или 7000 ккал/кг.

Пересчет натурального топлива на условное осуществляют по формуле

$$B_y = B_n \frac{Q_n^p}{29300},$$

где B_n – количество натурального топлива;

Q_n^p – удельная теплота сгорания натурального топлива, Дж/кг.

Пересчет электрической и тепловой энергии условного топлива производится по их физическим эквивалентам. Абсолютная энергоемкость изделия характеризует затраты топлива и энергии на единицу продукции и выражается в абсолютных единицах.

Например, энергоемкость 1 т, 1 м², 1 м материалов, одного изделия и т.д.

Удельную производственную энергоемкость изделия рассчитывают по формуле

$$\mathcal{E}_n^{\text{уд}} = \mathcal{E}_n / (P_\tau),$$

где \mathcal{E}_n – расход топлива или энергии на изготовление изделия;

τ – установленный срок службы изделия в эксплуатации;

P – номинальное значение основного параметра изделия или полезный эффект от эксплуатации изделия, определяемые по результатам научных исследований для конкретного вида изделия.

Удельную эксплуатационную энергоемкость изделия определяют по формуле

$$\mathcal{E}_3^{\text{уд}} = \mathcal{E}_3 / (P_\tau),$$

где \mathcal{E}_3 – расход топлива или энергии на эксплуатацию изделия за полный срок его службы.

Особо следует обратить внимание, что в данном случае имеются в виду затраты топлива и энергии на техническое обслуживание изделия, его ремонт и утилизацию, но не их потребление для функционирования изделия (работы его по назначению).

Показатели \mathcal{E}_3 и $\mathcal{E}_3^{уд}$ должны иметь одинаковую размерность. Тогда можно определить общую удельную энергоемкость изделия

$$\mathcal{E}^{уд} = \mathcal{E}_п^{уд} + \mathcal{E}_3^{уд}.$$

При достаточно малом значении $\mathcal{E}_3^{уд}$ (например, не более 10% от $\mathcal{E}_п^{уд}$) практически можно допустить $\mathcal{E}^{уд} = \mathcal{E}_п^{уд}$. Оценка эксплуатационной ТКИ по энергоемкости обязательна при сопоставимости значений $\mathcal{E}_п^{уд}$ и $\mathcal{E}_3^{уд}$, т.е. при $\mathcal{E}_3^{уд} \geq 0,1 \mathcal{E}_п^{уд}$.

При расчете значений энергоемкости изделия учитывают расход топлива и энергии только на технологические цели, не включая в расчетную формулу затраты на отопление и освещение производственных помещений и различные хозяйственные нужды.

Во всех случаях, когда для изделий можно установить значения полезного эффекта или основного технического параметра, ТКИ следует оценивать по удельным показателям энергоемкости, наиболее объективно характеризующим технологическую рациональность конструкции по затратам топлива и энергии.

Удельные показатели являются наиболее удобными объектами нормирования и прогнозирования их значений применительно к наукоемким изделиям на всех стадиях их создания.

4.5. Расчет технологической себестоимости изделия

Технологическая себестоимость изделия как показатель ТКИ характеризует в стоимостном выражении ресурсоемкость

изделия с учетом его конструктивных особенностей в сферах производства, эксплуатации и ремонта.

Разновидностями этого показателя, определяемыми затратами ресурсов в конкретных областях проявления ТКИ являются:

–технологическая себестоимость изделия в технической подготовке производства;

–технологическая себестоимость изделия в изготовлении;

–технологическая себестоимость изделия в техническом обслуживании;

–технологическая себестоимость изделия в ремонте и обслуживании;

–технологическая себестоимость изделия в утилизации.

Технологическую себестоимость изделия выражают в рублях - наиболее универсальном эквиваленте при сложении всех статей затрат и применяют как показатель ТКИ в случаях, когда стоимостные показатели являются основными при расчете экономической эффективности техники.

Главным образом это относится к тем изделиям, для которых текущие затраты определяются себестоимостью их в производстве, эксплуатации и ремонте при обязательном взаимосвязанном учете себестоимости продукции, производимой этими изделиями.

В общем виде технологическая себестоимость изделия рассчитывается по формуле

$$C_T = C_M + C_3 + C_{н.р.},$$

где C_M – стоимость материалов, затраченных на изготовление (обслуживание, ремонт) изделия;

C_3 – заработная плата рабочих с начислениями;

$C_{н.р.}$ – накладные расходы, включающие расходы на электроэнергию, потребляемую оборудованием, на амортизацию оборудования, инструмента и приспособлений, на смазочные, охлаждающие, обтирочные и другие материалы,

предусмотренные процессом проведения работ.

На различных этапах проектирования технологическая себестоимость изделия определяется различными способами, основанными на укрупненном методе расчета. Например, в общем случае

$$C_T = \sum_{i=1}^I M_i (H_i K_i + C_i^M) + \sum_{j=1}^J M_j (K_{cl} H_j K_j + C_j^M),$$

где $i = 1, 2, \dots, I$; I – число заимствованных составных частей изделия;

$j = 1, 2, \dots, J$; J – число оригинальных составных частей изделия;

C_T – технологическая себестоимость изделия в изготовлении, руб.;

M_i, M_j – сухая масса соответственно заимствованных и оригинальных составных частей (без покупных), кг;

H_j, H_i – затраты на производство соответственно заимствованных и оригинальных составных частей без стоимости материалов, приходящихся на 1 кг массы (норматив), руб.;

C_i^M, C_j^M – стоимость 1 кг массы материалов, входящих в изделие;

K_{cl} – коэффициент конструктивной сложности нового изделия по сравнению с аналогом ($K_{cl} < 1,5$);

K_i, K_j – коэффициенты изменения H в зависимости от объема выпуска.

При наличии разработанной спецификации материалов и уровне заимствования составных частей нового изделия в сравнении с аналогом не менее 60% технологическую себестоимость изделия можно рассчитывать по формуле

$$C_T = \sum_{i=1}^I M_i H_i K_i + \sum_{j=1}^J M_j K_{cl} H_j K_j + C_{об}^M,$$

где $C_{об}^M$ – общая стоимость сырья и материалов, руб.

При заимствовании 80% составных частей изделия и применении традиционных технологических методов изго-

товления оригинальных составных частей рекомендуется рассчитывать технологическую себестоимость изделия в изготовлении по формуле

$$C_T = \frac{C^T}{qK_{o.в.}} 100 + C^H$$

где C^M – стоимость традиционных материалов, руб.;

C^H – стоимость новых материалов, не требующих для обработки значительных затрат, руб.;

q – удельный вес затрат на материалы в себестоимости, %;

$K_{o.в.}$ – коэффициент изменения q в зависимости от объемов выпуска.

На стадии разработки рабочей конструкторской документации опытного образца и серийного производства рекомендуется определять технологическую себестоимость изделия в изготовлении на основе прямого нормирования трудоемкости и материалоемкости изделия

$$C_T = C_{об}^M + \sum_{P=1}^P t_p Z_p (1 + K_{н.р.}/100),$$

где t_p – трудоемкость изделия в P -м виде производства ($P = 1, 2, \dots, P$), нормо-ч;

Z_p – средняя часовая оплата труда рабочего для соответствующего вида производства, руб.;

P – число видов производств;

$K_{н.р.}$ – средние накладные расходы, %.

Наряду с абсолютной технологической себестоимостью изделия в качестве показателя ТКИ применяют удельную технологическую себестоимость по области ее проявления.

Удельную производственную технологическую себестоимость изделия рассчитывают по формуле

$$C_{п}^{уд} = C_{п}/(P\tau),$$

где $C_{п}$ – производственная технологическая себестоимость изделия, руб.;

τ – установленный срок службы изделия в эксплуатации;
 P – номинальное значение основного параметра изделия, или полезный эффект от его эксплуатации.

Характеристики и параметры должны удовлетворять тем же требованиям, что и при расчете материалоемкости изделия.

Удельную эксплуатационную технологическую себестоимость изделия рассчитывают по формуле

$$C_3^{уд} = C_3 / (P \tau),$$

где C_3 – эксплуатационная технологическая себестоимость изделия, руб.

Оценка ТКИ по удельной эксплуатационной технологической себестоимости при $C_3 > 0,1 C_n$ обязательна.

При сравнении вариантов конструкции изделия по технологической себестоимости необходимо выполнять те же требования, что и при оценке трудоемкости и материалоемкости изделия.

Расчетные методы определения трудоемкости и материалоемкости изделия рекомендуются также для использования при укрупненном определении технологической себестоимости нового наукоемкого изделия с малой степенью преимущества конструкции.

Вопросы для самоконтроля

1. Покажите структуру ресурсосберегающих показателей качества наукоемких изделий.
2. Разновидности показателя материалоемкости, определяемые затратами материалов в конкретных областях проявления.
3. Объясните значение коэффициент использования материала для оценки ТКИ.
4. Дайте определение трудоемкости изделия, как показателя ТКИ.
5. Охарактеризуйте энергоемкость изделия как показатель ТКИ.
6. Какая информация и методы используются для определения трудоемкости изделия?
7. Как определяют суммарную энергоемкость наукоемкого изделия?
8. Метод определения удельной эксплуатационной энергоемкость наукоемкого изделия.
9. Из чего складывается технологическая себестоимость изделия? Приведите примеры.
10. Как рассчитать технологическую себестоимость изделия в общем виде?
11. Поясните способ укрупненного определения технологической себестоимости наукоемкого изделия в сравнении с аналогом.
12. Как можно определять технологическую себестоимость изделия в изготовлении на основе прямого нормирования трудоемкости и материалоемкости наукоемкого изделия?
13. Приведите формулу для расчета удельной производственной технологической себестоимости наукоемкого изделия.
14. Формула для расчета эксплуатационной технологической себестоимости изделия.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ВЫПУСКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

5.1. Задачи технологического контроля

Технологическим контролем называется инженерная проверка конструкторско-технологических решений, формируемых на стадиях разработки конструкторской документации, требованиям технологичности. Технологический контроль должен быть направлен на:

- соблюдение в конструкции разрабатываемых изделий установленных технологических норм и требований с учетом современного уровня развития техники и способов изготовления, эксплуатации и ремонта изделия;

- достижение в конструкции разрабатываемых изделий заданных показателей ее технологичности;

- выявление наиболее рациональных способов изготовления изделий с учетом заданных показателей качества и объемов выпуска продукции и условий выполнения работ.

Технологическому контролю, как правило, подлежит конструкторская документация на изделия основного и вспомогательного производства. Конструкторская документация не регламентирует технологические способы и методы изготовления, технического обслуживания и ремонта изделия, однако содержащиеся в ней данные в значительной степени влияют на их выбор и применение при разработке производственной (технологической), эксплуатационной и ремонтной документации.

Содержание технологического контроля заключается в проверке полного и точного учета конструктором технологических требований к конструкции изделия как объекта производства, эксплуатации и ремонта. Наибольшее распространение получил технологический контроль конструкторской документации на соответствие ее требованиям про-

изводственной технологичности. Различают следующие его виды:

- в зависимости от организации работ (внутренний, внешний, входной);
- в зависимости от объема контроля (сплошной, выборочный).

Внутренний контроль выполняется во время разработки конструкторской документации специалистами той организации, которая занимается этой разработкой. Внешний контроль выполняется во время разработки конструкторской документации (до завершения разработки рабочей документации) специалистами предприятия-изготовителя. Входной контроль выполняется специалистами предприятия-изготовителя после разработки рабочей конструкторской документации и передачи ее предприятию-изготовителю, не являющемуся разработчиком этой документации. При сплошном контроле проверяется полный комплект конструкторской документации, при выборочном – некоторая ее часть. При технологическом контроле проектной и рабочей конструкторской документации применяются разнообразные методы сравнительной (качественной и количественной) оценки. Методы сравнительной качественной оценки составляют основу технологического контроля на всех этапах разработки рабочей конструкторской документации. Сущность их заключается в непосредственном сравнении контролируемого технического решения с решением, принятым за эталон. В результате сравнения в качестве оценочного критерия выбирается одна из альтернатив: «лучше» или «хуже»; «рационально» или «нерационально»; «хорошо» или «плохо»; «допустимо» или «недопустимо» и т.п.

В качестве эталона для сравнительной оценки принимаются:

- конструкция изделия-аналога из числа находящихся в производстве или изготавливаемых ранее;
- конструкция изделия, исполнение которой представляет собой типовую структурную компоновку (для сборочных

единиц) или комплексную деталь (для деталей);

- нормативно-технические требования к изделию, регламентированные в действующих нормативно-технических документах с учетом тенденций развития данного вида техники и производства;

- личный опыт исполнителя, осуществляющего технологический контроль (при достаточно высокой квалификации исполнителя).

Методы сравнительной количественной оценки применяются при технологическом контроле в случаях, когда необходимо дополнить качественную оценку ТКИ сравнением контролируемого технического решения с решением, принятым за эталон, по основным показателям технологичности или по отдельным показателям, выражающим технологическую рациональность и преимущество конструкции изделия. При сравнительной количественной оценке к основным показателям относят трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость и технологическую себестоимость. Показатели технологической рациональности конструкции изделия используют, как правило, для оценки рациональности состава и структуры изделия, его сложности, сборности и ремонтпригодности, легкосъемности составных частей, доступности мест обслуживания, удобства монтажа вне предприятия-изготовителя. Показатели преимущественности конструкции изделия применяют для оценки конструктивной и технологической преимущественности изделия, изменяемости и повторяемости его составных частей и их компоновок, конструктивных элементов и материалов. К ним, например, относят коэффициенты новизны изделия, применяемости унифицированных или стандартных составных частей, конструктивных элементов детали (резьб, креплений, галтелей, фасок, проточек, отверстий и т.п.) и материалов, повторяемости составных частей, конструктивных элементов и материалов и др. Стадии разработки конструкторской документации, на которых она подвергается технологическому контролю, определяют в зависимости от вида изделия, его конструктив-

ных особенностей, уровня новизны и сложности исполнения и других факторов. Примерное содержание технологического контроля по стадиям разработки приведено в табл. 5.1.

5.2. Проведение технологического контроля

Технологический контроль рекомендуется проводить в два этапа:

1 – проверка оригиналов текстовых и графических конструкторских документов;

2 – проверка текстовых и графических конструкторских документов в подлинниках.

Конструкторские документы должны предъявляться на технологический контроль комплектно:

а) для проектной документации – все документы, разрабатываемые на соответствующей стадии и включенные в ведомость технического предложения, эскизного или технического проектов;

б) для рабочей документации – документы, разрабатываемые на соответствующей стадии и включенные в основной или полный комплект конструкторских документов.

Документы, предъявляемые на технологический контроль, должны быть подписаны в графах «Разраб.» и «Пров.». Подписание контролером проверенных конструкторских документов производится следующим образом:

а) если документ проверяет один контролер по всем показателям, то он подписывает документ в графе «Т.контр.» основной надписи;

б) если документ последовательно проверяют несколько специализированных контролеров, то подписывает эти документы в графе «Т.контр» основной надписи исполнитель наиболее высокой из контролеров должностной категории.

Остальные контролеры ставят свои подписи на поле подшивки.

Таблица 5.1

Содержание технологического контроля на различных стадиях разработки конструкторской документации

Схема разработки	Что проверяется
1	2
Техническое предложение	Правильность выбора варианта конструктивного решения в соответствии с требованиями технологичности
Эскизный проект	<p>Правильность выбора принципиальной схемы конструкции, обеспечивающей простоту компоновки изделия и технологичность его конструкции.</p> <p>Рациональность конструктивных решений с точки зрения простоты изготовления определяющих (базовых) деталей наукоемкого изделия.</p> <p>Обеспечение преемственности конструкции.</p> <p>Правильность расчленения изделия на составные части, обеспечивающие удобство обслуживания, монтажа и регулировки.</p> <p>Установление номенклатуры основных марок материалов и соответствие этих марок установленному перечню.</p> <p>Возможность применения наиболее эффективных и рациональных методов обработки (например комбинированных) для наиболее сложных деталей</p>
Технический проект	Возможность проведения сборки, контроля и контрольно-технологических испытаний изделия и его основных составных частей независимо и параллельно.

	<p>Удобство и доступность мест сборки. Возможность исключения или доведения до минимума механической обработки при сборке. Возможность обеспечения необходимой взаимозаменяемости сборочных единиц и деталей. Выбор элементов конструкции сборочных единиц (основных составных частей) с точки зрения их технологичности. Оптимальность номенклатуры контролируемых параметров, а также методов и средств их контроля. Возможность применения стандартизованных методов выполнения и контроля</p>
<p>Рабочая документация</p>	<p>На стадии разработки рабочей документации проверяют данные, указанные для технического проекта, а также: технологичность деталей в зависимости от технологичности сборочных единиц; технологичность сборки как изделия в целом, так и его составных частей (в том числе сварных конструкций); технологичность механически обрабатываемых, литых, горячештампующих, холодноштампующих и термически обрабатываемых деталей; возможность разделения сборочной единицы на составные части, сборку которых целесообразно производить параллельно; наличие сборочных баз; удобство сборки и разборки; возможность уменьшения количества и объема пригоночных операций</p>

Нормоконтроль – это проверка исчерпывающего и точного соблюдения в конструкторской документации требований и норм действующих нормативно-технических документов и использования в ней принципов конструктивной и технологической преемственности, унификации и стандартизации.

Технологический контроль, как и нормоконтроль, является эффективным средством проверки соблюдения требований стандартов на систему подготовки производства, определяющих порядок и методы обеспечения ТКИ, а также других нормативно-технических документов, регламентирующих конструктивно-технологические нормы и требования.

Различие между этими видами контроля состоит лишь в том, что при нормоконтроле проверяется применение в конструкторской документации всех действующих нормативно-технических документов, а при технологическом контроле – только тех, которые имеют отношение к конструктивно-технологическим нормам и требованиям.

При технологическом контроле, как и при нормоконтроле, проверяют использование в документации принципа конструктивной и технологической преемственности. Это естественно, так как преемственность конструкции наряду с ее технологической рациональностью определяет технологичность конструкции изделия. При нормоконтроле проверяют соблюдение правил оформления чертежей деталей и сборочных единиц, установленных стандартами ЕСКД. Однако многие из этих правил прямо или косвенно затрагивают различные аспекты технологичности. Поэтому при организации работ по технологическому контролю на предприятии следует четко разграничивать функции нормоконтроля и специалиста, осуществляющего технологический контроль. Технологический контроль может рассматриваться как выборочный нормоконтроль по нормативно-техническим документам, регламентирующим технологические нормы на конструирование. Перечень таких документов для техноло-

гического контроля должен быть четко определен, а возможность дублирования проверки их соблюдения нормоконтролем - полностью исключена. Применение принципа конструктивной и технологической преемственности для нормоконтроля определяют, исходя из следующих возможных результатов:

- конструкция оригинальна и не имеет никакого сходства (подобия) с ранее разработанными;

- конструкция подобна ранее разработанным (находящимся в производстве, примененным в других изделиях, стандартным) и может быть отнесена к определенной классификационной группе изделий. Такие конструкции разрабатываются на основе типовых конструктивных компоновок и базовых моделей;

- конструкция тождественна уже известным конструкциям и может быть без ущерба для качества заменена ими. Такие тождественные решения обычно называют унифицированными. Возможны промежуточные решения (унификация по отдельным элементам, частичное подобие и т. п.).

Работы по унификации изделий (изделий в целом, материалов, конструктивных элементов, линейных размеров и т.д.) относятся к одной из эффективных областей конструкторской деятельности. Их часто выделяют в самостоятельное направление конструирования. Поэтому контроль унификации относят к нормоконтролю. Унификация существенно влияет на уровень технологичности. Однако наибольший эффект дает типизация изделий, выполненная при их конструировании. Типизация, как и унификация, уменьшает многообразие конструктивных решений, но по сравнению с унификацией является менее жесткой в отношении изделий, завершенности их конструкций и, следовательно, возможности замены применяемого оборудования и технологических процессов более прогрессивными. Поэтому контроль за типизацией конструкций относят к технологичности конструкций. Для

исключения случаев, когда требования нормоконтроля будут снижать уровень технологичности конструкций, обязательна четко налаженная взаимосвязь специалистов, осуществляющих нормоконтроль и технологический контроль, а в необходимых случаях одновременное проведение нормоконтроля и технологического контроля, подготовка совместных рекомендаций, объединение их исполнителей под единым руководством и т.п.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните особенности технологического контроля конструкторской документации.
2. Покажите содержание технологического контроля для оценки ТКИ.
3. Дайте характеристику метода сравнительной качественной оценки ТКИ.
4. Охарактеризуйте содержание технологического контроля на различных стадиях разработки конструкторской документации.
5. Какова роль показателей преемственности конструкции изделия применяют для оценки конструктивной и технологической преемственности изделия?
6. Как и по каким направлениям проводят технологический контроль в зависимости от количества и содержания разрабатываемых конструкторских документов?
7. Поясните порядок проведения технологического контроля для оценки ТКИ изделия.
8. Охарактеризуйте этапы технологического контроля.
9. Как применяют принцип конструктивной и технологической преемственности наукоемкого изделия?
10. Поясните, как осуществляют организацию отработки конструкции изделия на технологичность.

6. ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

6.1. Методы сетевого планирования

Планирование технической подготовки производства состоит в распределении, координации и контроле работ: во времени - по стадиям и этапам, по содержанию и объемам - между органами технической подготовки. Планирование производится в соответствии с заданиями годового и перспективного планов развития предприятия. Важнейшей задачей планирования является ускорение технической подготовки и обеспечение производства технической документацией и технологическим оснащением к началу запуска изделия. Основой для расчета плана подготовки как во времени, так и по объему являются заводские и отраслевые нормативы трудоемкости, позволяющие делать укрупненные расчеты при конструировании изделий или разработке новой продукции.

Трудоемкость, длительность и стоимость технической подготовки производства могут быть определены на основе установленных корреляционных зависимостей по таким факторам, как количество деталей и узлов в конструкции, категория сложности изделия, новизна конструкции, степень унификации, среднее количество операций на одну деталь, коэффициент оснащенности, степень механизации и автоматизации.

После определения длительности всех этапов технической подготовки составляется календарный план ее осуществления – в форме ленточного, линейного или сетевого графика. В целях ускорения подготовки она должна планироваться с возможно высокой степенью параллельности.

Наибольшее распространение на практике получили графики линейного типа, в особенности при небольшом объеме проектируемых работ и краткосрочности этапов их

осуществления. Связано это с простотой и удобством их графического построения, наглядностью изображаемых процессов.

При освоении сложных объектов современной техники планирование и управление разработками выполняется при помощи методов сетевого планирования и управления (СПУ). Эти методы позволяют оптимизировать процесс создания накоёмкой продукции как по времени, так и по стоимости. СПУ основано на графическом изображении определенного комплекса работ, отражающем их логическую последовательность, взаимосвязь и длительность, с оптимизацией разработанного графика при помощи методов прикладной математики и вычислительной техники и его использования для текущего руководства этими работами. Модель планируемого процесса как технической системы изображается в виде ориентированного графа, называемого сетевым или просто сетью (рис. 6.1).

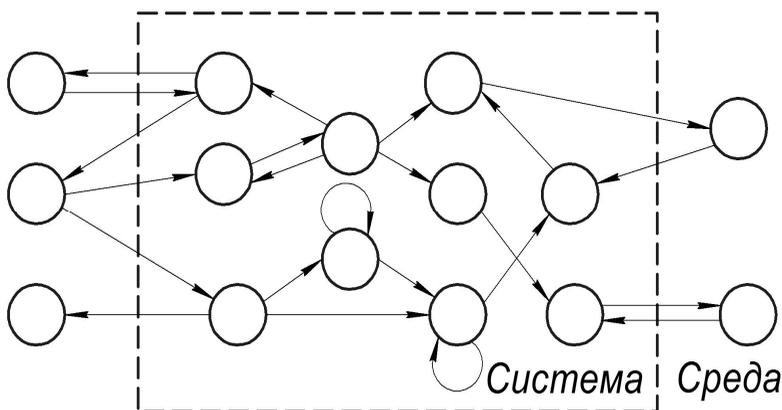


Рис. 6.1. Изображение системы в форме графа

Граф состоит из работ и событий. Работой называется тот или иной процесс (например, изготовление опытного образца продукции), а событием - момент завершения работы,

в данном случае момент готовности образца, после которого должна начаться следующая работа (например, его испытание и доводка). События обозначены кружками, работы - стрелками.

Длина стрелки графически не выражает продолжительности выполнения работы, она обозначается числом дней или недель и наносится над стрелкой. Полный путь в сетевом графике - это любая непрерывная последовательность взаимозаменяемых событий и работ, ведущая от события, исходного для всего графика (1), к завершающему, последнему событию (31) сетевого графика (рис. 6.2).

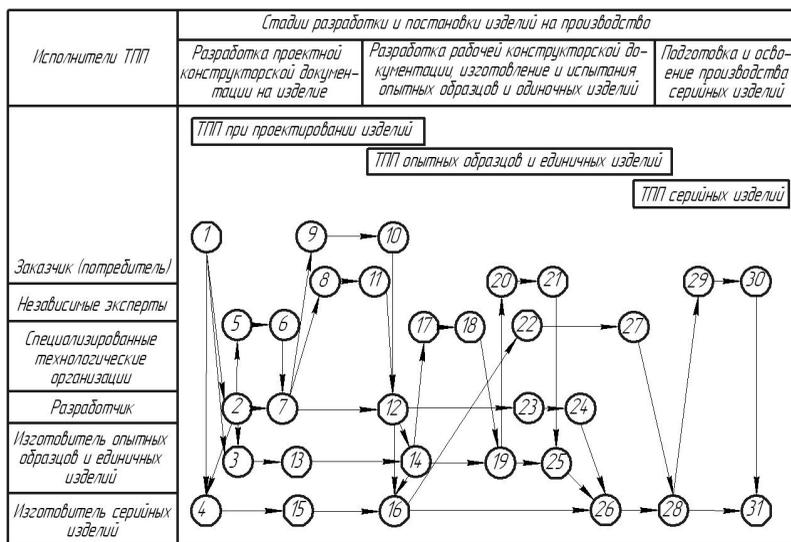


Рис. 6.2. Типовая схема организации ТПП

- Кроме полных путей (а их несколько), следует различать:
- путь от исходного события до какого-либо промежуточного события (29-30);
 - путь, соединяющий данное промежуточное событие с завершающим (30-31);

– путь между двумя событиями, из которых ни одно не является исходным или завершающим (9-10).

Среди этих путей особое значение имеет критический путь – последовательность работ от исходного до завершающего события, требующая наибольшего времени для их выполнения. Критический путь обычно обозначают жирными стрелками. Продолжительность работ, лежащих на критическом пути, определяет общий цикл завершения всего комплекса работ, планируемых при помощи сетевого графика. Уменьшение длительности критического пути является основной задачей оптимизации планирования. Термин «событие» применяется в СПУ в смысле вероятного и зависимого события, наступление которого может меняться от 1 до 0.

Термин «работа» и его графическое изображение в виде линии употребляются в более широком понимании: как действие, требующее затрат времени, время ожидания (например, при испытаниях опытного образца) и, наконец, как логическая связь между событиями (фиктивная работа). Ожидаемое время выполнения работы $t_{ож}$ выводится из сравнения трех оценок: оптимистической t_{min} , пессимистической t_{max} , вероятной t_b . Оно определяется либо экспертным путем, либо берется из статистических данных по аналоговым проектам. Оптимистическая оценка предполагает наличие самых благоприятных условий для ее выполнения, а пессимистическая - самых неблагоприятных. Наиболее вероятное время берется как наиболее часто встречающееся в данной статистической совокупности:

$$t_{ож} = (t_{min} + 4t_b + t_{max})/6.$$

Возможность выяснить разницу между продолжительностью критического пути и продолжительностью любого другого пути позволяет вскрывать резервы времени технической подготовки, что является огромным преимуществом СПУ по сравнению с линейным графиком. Кроме того, СПУ позволяет соотносить любые промежуточные работы и события, указанные во времени с основными этапами. Так, из сетевого гра-

фика видно, что помимо работ 9-10 и 29-30 к моменту завершения события 31 требуется определить работы 19-55 (размножение и выпуск рабочих чертежей и технической документации), 17-18 (составление технического задания на проектирование технологической оснастки), 5-6 (технологический контроль чертежей).

Расчеты в СПУ значительно увеличиваются в связи с необходимостью обычных частых пересоставлений графиков, так как некоторые работы выполняются досрочно, а часть работ запаздывает. Поэтому для успешного применения СПУ необходимо расчеты производить на ЭВМ с графопостроителем. Это обеспечивает быстрое производство расчетов не только по временным параметрам, но и в денежном выражении по затратам. Для СПУ необходимо накопление большого статистического материала, требуется труд высококвалифицированных специалистов. Несмотря на это, эффективность СПУ велика, особенно для таких работ, как проектирование новых наукоёмких видов техники, основанных на новых научных принципах, изготовление и монтаж наиболее сложных видов технологического оборудования, капитальное строительство сложных объектов, комплексные работы, выполняемые многими предприятиями различных отраслей.

Сроки технической подготовки производства значительно сокращаются, если механизировать и автоматизировать трудоемкие вычислительные, графические, поисковые, документационно - множительные и другие работы, характерные для большинства этапов конструкторской и технологической подготовке производства. Эффективность и степень автоматизации и механизации работ определяются их характером и содержанием. Так, процесс непосредственного изготовления проектно-конструкторских и технологических документов до недавнего времени занимал до 50% рабочего времени специалистов. Поэтому даже широкое использование относительно простых средств и методов, таких, как черчение на масштабнокординатной бумаге с прозрачной основой, использование

прозрачных темплетов, приложений для формирования чертежа, модельно-макетного проектирования, фотомонтажа документов, чертежей-заготовок типового представителя не способствовало значительному сокращению трудоемкости этих работ. Главным направлением здесь является автоматизация. В настоящее время широко используются компьютерные системы автоматизированного проектирования. Другим существенным направлением механизации и автоматизации технической подготовки является использование автоматизированных информационно-поисковых систем (ИПС).

Конструктор, приступая к новой разработке, изучает, пользуясь фондом, накопленным в ИПС, наиболее современные элементы конструкций, принципы действия, патенты, стандарты, тем самым значительно сокращая длительность этапов проектирования и обеспечивая современные и перспективные требования к конструкции. При технологическом проектировании ИПС представляет материалы для решения задач: классификации деталей, технологических процессов, группировки деталей применительно к действующим унифицированным технологическим процессам. На основе информации производятся расчеты размеров поверхности обработки, расхода материалов, составляется их спецификация, определяется последовательность технологических маршрутов, перечень технологического оборудования.

Наибольший эффект от механизации и автоматизации технической подготовки производства достигается объединением САПР, автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП), автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП) в рамках автоматизированной системы управления производством (АСУП). Особая роль здесь отводится аддитивным технологиям, без которых «сквозное» проектирование наукоёмкой техники неэффективно. Только в этом случае обеспечивается ускорение и повышение технического уровня конструкторских и технологических разработок, выбираются опти-

мальный технологический процесс, рациональное использование производственных мощностей, материальных и трудовых ресурсов, повышения качества продукции и всей хозяйственно-экономической работы предприятия по выпуску наукоёмкой техники. Но разработать процесс производства и технологию - это еще не все. Для нормального функционирования системы нам необходимо обеспечить нормальное техническое обслуживание и снабжение всеми необходимыми комплектующими, а также организовать бесперебойную эксплуатацию средств технологического оснащения.

6.2. Планирование энергоснабжения

Для большинства процессов на предприятии, начиная с основного производства и заканчивая ремонтом оборудования необходимо снабжение различными видами энергии. Эту задачу берет на себя энергетическое хозяйство предприятия. Назначение энергетического хозяйства - бесперебойное обеспечение всех подразделений предприятия необходимыми видами энергетических услуг при минимальных затратах на содержание данной службы. Для этого ее усилия должны быть направлены на решение следующих основных задач:

- получение со стороны энергии общепромышленного назначения и производство собственными силами отдельных ее видов;

- организацию и планирование рационального потребления энергии всеми подразделениями предприятия;

- надзор за правильной эксплуатацией энергетического оборудования, его техническим обслуживанием и ремонтом;

- разработку и осуществление мероприятий по экономии энергоресурсов.

Потребности промышленных предприятий в энергоресурсах обеспечиваются за счет трех источников:

- централизованного снабжения;

- собственного производства энергии;
- использования вторичных энергоресурсов.

Основным источником в современных условиях является централизованное снабжение предприятия энергоресурсами общепромышленного назначения:

- электроэнергией, паром, горячей водой - от районных теплоэлектроцентралей;
- природным газом - от государственной сети газоснабжения;
- твердым и жидким топливом - в порядке поставок от предприятий топливдобывающих отраслей через систему договоров заключенных с этими предприятиями.

Собственное производство энергии силами самого предприятия организуется применительно к тем ее видам, централизованное обеспечение которыми либо технически невозможно, либо нерационально из-за утери его полезных свойств при передаче на большое расстояние при значительной удаленности предприятия от источника централизованного обеспечения. Это относится к таким энергоносителям, как сжатый воздух, насыщенный пар и т.д. Важная роль в организации рационального энергоснабжения принадлежит также использованию вторичных энергоресурсов на предприятиях:

- использованию тепла печей для производства горячей воды, пара;
- вторичное использование пара, горячей воды для отопления помещений и хозяйственных нужд и т.д.

В состав энергохозяйства предприятия входят *тепловая, энергосиловая, газовый, слаботочный, электроремонтный* участки и др. Теплосиловой участок охватывает котельные, компрессорные установки, тепловую и канализационную сети, водоснабжение. Его назначение – обеспечение производства паром, водой, сжатым воздухом. Электросиловой участок объединяет понижающие подстанции, электрические сети, генераторные и трансформаторные установки. Его задача - об-

служивание всех подразделений предприятия электроэнергией. Газовый участок располагает газовыми сетями, кислородными и ацетиленовыми станциями, холодильными установками, промышленной вентиляцией. Он отвечает за обеспечение производства кислородом, ацетиленом и другими газами. Слаботочный участок охватывает всю заводскую телефонную и радиотрансляционную связь, а также другие виды связи и сигнализации, обеспечивая их бесперебойную работу в установленном режиме. Электроремонтный участок располагает соответствующими средствами и кадрами для осуществления ремонта электрооборудования и электроаппаратуры. Руководит энергетическим хозяйством на крупных предприятиях главный энергетик, опирающийся в своей работе на отдел главного энергетика. В составе отдела обычно выделяют бюро энергоиспользования и энергооборудования, а также лаборатории - электрическую и тепловую. На небольших предприятиях руководство энергохозяйством осуществляет заместитель главного механика по энергетической части.

Рациональное использование энергетических ресурсов предполагает строгое нормирование их выработки и расхода. Разработка соответствующих норм ведется отделом главного энергетика для служб, вырабатывающих энергоресурсы, для производственных цехов и других подразделений, расходующих энергию для производства основной продукции, инструмента, на хозяйственные нужды и т.д. Разработка норм расхода электроэнергии, пара, сжатого воздуха, газа, воды, вспомогательных материалов ведется на единицу продукции. Для подразделений, вырабатывающих энергоресурсы, нормы устанавливаются применительно к следующим единицам продукции:

- для электростанций - 100 кВт×ч выработанной электроэнергии;
- для котельных - 1 т нормального пара или 1 МКал тепла;
- для кислородных установок - 1 м³ газообразного

кислорода и т.д.

Для основных цехов нормы разрабатываются применительно к следующим единицам продукции:

- литейные и кузнечные цехи - 1 т годных отливок, поковок или штамповок, прошедших обрубку;
- цехи покрытий - 1 м² покрываемой поверхности;
- механические цехи - машинокомплект деталей;
- сборочные цехи - сборочная единица или машина.

Методика расчета норм расхода энергетических ресурсов определяется отраслевыми методическими указаниями. Планирование расхода энергии ведется отдельно по каждому виду ресурсов на основе норм их расхода и производственной программы на планируемый период. При этом рассчитывается потребность отдельно на основные и вспомогательные нужды. Учитываются также потери энергии в сетях. Например, расход электроэнергии механическим цехом на производство продукции на плановый период может быть определен по следующей формуле:

$$P_{\text{пл}} = H_{\text{эл}} N,$$

где $P_{\text{пл}}$ – расход электроэнергии на планируемый период, кВт×ч;

$H_{\text{эл}}$ – норма расхода электроэнергии по цеху на машинокомплект, кВт×ч;

N – программа планового периода в машинокомплектах.

Потребность в электроэнергии на вспомогательные нужды рассчитывается исходя из количества источников расхода энергии, режима их работы и соответствующих норм расхода. Потери электроэнергии в сетях рассчитываются по разработанным нормативам. Суммирование потребности по всем трем составляющим определит общий расход электроэнергии по цеху в плановом периоде. Расчеты по отдельным цехам и службам сводятся отделом главного энергетика в общий план расхода электроэнергии на плановый период по предприятию в целом. Важная роль в организации и планировании энерго-

хозяйства принадлежит сводному энергобалансу предприятия, составляемому с учетом видов энергии. Энергобаланс состоит из приходной и расходной частей. В приходной части указывается общее поступление энергии с учетом ее источников, в расходной - направление использования энергии по ее видам и потребителям. Энергобаланс содержит:

- общее поступление энергии;
- направление использования энергии по ее видам;
- затраты по отдельным видам энергоносителей и эффективность их использования.

На его основе разрабатывается план выработки и использования энергии, потребность в материальных ресурсах и кадрах на плановый период, эффективность использования ресурсов. Основными технико-экономическими показателями, характеризующими эффективность организации энергетического хозяйства, являются:

- коэффициенты потерь в сетях по видам энергии;
- эффективность использования энергоустановок;
- абсолютное потребление топлива и других исходных материалов;
- удельный расход на выработку единицы определенного вида энергии;
- себестоимость каждого вида энергии;
- коэффициент энерговооруженности рабочих.

Промышленное производство является крупнейшим потребителем энергетических ресурсов. На его долю приходится большая часть потребляемой электроэнергии. Поэтому последовательное проведение мероприятий по экономии энергетических ресурсов на промышленных предприятиях имеет большое значение.

По направлению использования различают *технологическую, двигательную, осветительную и отопительную* энергию. Основными путями рационализации потребления энергии по указанным направлениям являются:

- ликвидация прямых потерь топлива и энергии;
- правильный выбор энергоносителей; использование вторичных энергоресурсов;
- совершенствование технологии и организации основного производства;
- проведение общехозяйственных мероприятий по экономии топлива и энергии.

Поскольку одни и те же процессы могут выполняться с использованием разных энергоносителей, важно разработать сравнительные характеристики этого использования, с тем чтобы на обоснованно осуществлять их выбор для конкретных условий. Выбор этот зависит от ряда параметров: особенностей технологического процесса, источника обеспечения (например, ТЭЦ или собственная котельная) и др. Использование вторичных энергоресурсов:

- печных отходящих газов;
- физического тепла генераторного газа, конденсата пара, охлаждающей воды,
- остывающей продукции;
- коксового и доменного газов и др.

Основными технологическими мероприятиями по рационализации использования энергии являются:

- интенсификация производственных процессов (скоростные режимы обработки);
- внедрение более совершенной технологии и техники производства (замена обработки металлов резанием точным литьем,ковки - штамповкой и т.д.).

Для экономии двигательной энергии большое значение имеет лучшее использование мощности оборудования. В числе мероприятий в этом направлении можно назвать повышение коэффициента использования мощности токоприемников путем:

- перераспределения электродвигателей в соответствии с характером выполняемых работ и мощностью;

– повышение загрузки оборудования в смену.

В целом техническая подготовка производства производится в соответствии с проектом технической подготовки который состоит из следующих пунктов:

- подбор и размещение технологического оборудования, систем холодильных установок, энергоснабжения, санитарно-технических коммуникаций;

- определение методов удаления отходов производства и их утилизации;

- расчет численности производственно-технического персонала, определение сроков окупаемости предприятия и его рентабельности;

- организация технологического процесса производства предприятия в целом и отдельных его цехов;

- разработка объемно-планировочной схемы здания, отвечающей технологическому процессу.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные принципы планирования технической подготовки производства.

2. Виды и основное содержание различных работ по организации подготовки к выпуску наукоемких изделий.

3. Поясните важность системы автоматизированного сетевого планирования для конструкторской и технологической подготовки производства.

4. Каким образом формируется система планирования энергоресурсов при подготовке производства?

5. Приведите примеры текущего планирования.

6. Взаимосвязь возможностей автоматизированного планирования со сроками ускоренной подготовки производства энергетических установок и двигателей.

7. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

7.1. Понятие и виды аддитивного производства

Аддитивное производство (Additive Manufacturing, AM) - новаторская технологическая концепция, активно разрабатываемая во всех высокоразвитых странах со второй половины XX века. Принцип заключается в том, что изделие создается при помощи послойного добавления материала различными способами, например, наплавляя или напыляя порошок, жидкий полимер, композитный материал.

Данная концепция призвана дополнить традиционные методы производства, основанные на удалении первичного материала (например, фрезерование или точение).

Технология позволяет получать микронные внутренние полости различной конфигурации (цилиндрические, конические, спиральные каналы, ячейки и пр.), которые являются недоступными для традиционных способов изготовления изделий.

Суть самой распространенной технологии - стереолитографии в следующем: в рабочей зоне принтера находится жидкий фотополимер. При освещении ультрафиолетовым светом фотополимер затвердевает и превращается в достаточно прочный пластик (фотополимеры, например, активно используются дантистами для пломбирования).

Для засветки полимера используется либо ультрафиолетовый лазер, либо обычная ультрафиолетовая лампа. Луч лазера фактически попиксельно сканирует рабочую плоскость и формирует отдельные твердые «пиксели», пока не нарисует на пластике сечение модели. Затем уровень фотополимера повышается (точнее, опускается рабочий стол вместе со сформированной частью модели), и поверх него рисуется следующий слой, пока модель не будет полностью готова.

Стереолитография позволяет получить точность «отпе-

чатка» порядка десятых долей миллиметра, хорошо воспроизводит мелкие детали и обеспечивает достаточно ровную поверхность объекта. Эта технология лучше всего обкатана и наиболее широко распространена. Впрочем, не лишена она и недостатков - установки, равно как и расходные материалы, достаточно дороги (цена такого принтера составляет порядка сотен тысяч долларов). К тому же обрабатываемый материал ограничивается только фотополимерами.

Аддитивное производство с использованием лазера называется селективным лазерным плавлением (СЛП), – новаторская и уникальная технология прямого изготовления трехмерных объектов с определенными механическими свойствами из металлических порошков (в том числе наноструктурированных). Конечные свойства материала изделия после процесса спекания сопоставимы со свойствами исходного монолитного материала.

Альтернативный метод трехмерной печати называется лазерным спеканием (Selective Laser Sintering - SLS). Тут, как легко догадаться, тоже используется лазер, но в качестве рабочего материала выступает уже не фотополимер, а порошок какого-нибудь относительно легкоплавкого пластика.

Пластик в рабочем объеме SLS-машины нагревается почти до температуры плавления, а чтобы он не загорелся и не стал окисляться, в рабочую зону подается азот. Затем мощный лазер опять же рисует по пластиковому порошку сечение детали, пластик нагревается выше температуры плавления и спекается. Сверху насыпается следующий слой и процедура повторяется. В конце работы лишний порошок просто стряхивается с готовой модели.

Лазерное спекание тоже обеспечивает достаточно высокое качество деталей, хотя поверхность у них получается пористой. Зато полученные методом SLS модели - самые прочные и эту технологию, в принципе, можно использовать для малосерийного производства. Правда, установка SLS достаточно сложная и дорогая, а скорость производства составляет

всего несколько сантиметров (высоты) в час (плюс, несколько часов на нагревание и остывание установки).

При помощи технологии селективного лазерного плавления также можно получить биметаллические изделия за счет переменной подачи разного порошка, например медного и из нержавеющей стали. Технология селективного лазерного плавления применяется как для быстрого прототипирования, так и мелко- и среднесерийного производства промышленных изделий.

Особенность производства указанным методом заключается в том, что данная технология не требует предварительного трудоемкого процесса технологической подготовки производства. Изделия сложной геометрической формы создаются непосредственно из САПР в течение нескольких часов и не требуют дополнительной механической обработки на станках.

Технология СЛП обеспечивает изготовление деталей с высокой точностью в полном соответствии с техническими требованиями к изделию и механическими свойствами, указанными в 3D-модели. Кроме неплохой точности изготовления и высокой прочности полученных "распечаток", SLS обладает еще несколькими важными достоинствами.

Во-первых, лазерное спекание позволяет изготавливать модели с подвижными частями - например, с работающими петлевыми соединениями, нажимающимися кнопками и так далее.

Во-вторых, для SLS-процесса разработаны специальные материалы, позволяющие напрямую изготавливать металлические детали. В качестве порошка здесь используются микрочастицы стали, покрытые сверху слоем связующего пластика. Спекание пластика происходит как обычно, а затем «отпечатанная» деталь обжигается в печи. При этом пластик выгорает, а освободившиеся поры заполняются бронзой. В результате, получается объект, состоящий на 60% из стали и на остальные 40% и бронзы. По своим механическим характеристикам он превосходит алюминий и приближается к классической нержавеющей стали.

Фактически, SLS уже сейчас позволяет производить полноценные металлические предметы, причем произвольной формы. Кроме того, имеется аналогичный материал с керамической или стеклянной сердцевиной - из него можно делать модели, устойчивые к высоким температурам и агрессивным химическим веществам.

В целом *Аддитивное производство* – перспективная технология изготовления изделий единичного и мелкосерийного производства во многих отраслях промышленности (машиностроение, авиационная и космическая отрасли, медицина и пр.).

Использование таких технологий позволяет изготавливать детали с внутренними криволинейными отверстиями, недоступными изготовления другими методами обработки. Прямое производство с САПР и отсутствие множества переходов и переустанов детали на станке, как при традиционных методах изготовления, позволяет получить высокую точность и качество наукоемкого изделия.

7.2. Предпосылки использования аддитивных технологий в заготовительном производстве

Широта и разноплановость задач, решаемых при выборе конструкционных материалов для нагруженных элементов наукоемких изделий, привела к необходимости использования не только новых материалов с повышенными механическими характеристиками, способных сопротивляться воздействию циклических нагрузок широкого спектра частот и совместимых с водородом, но и совершенно новых технологий, ранее не применяемых в производстве.

Традиционные технологические и материаловедческие приемы – литье,ковка, штамповка, дополнительное легирование, термообработка и т. п. практически полностью исчерпали себя и не могут обеспечить радикального повышения служебных характеристик сталей и сплавов. Кроме того, дополни-

тельное легирование приводит, как правило, к снижению технологических свойств жаропрочных сплавов, затрудняет горячую деформацию (ковку и штамповку) и обработку резанием, что в свою очередь вызывает уменьшение коэффициента использования металла, как для деталей, изготавливаемых из ковков и на станках с ЧПУ штамповок с очень низким коэффициентом использования материала (рис. 7.1). В связи с этим на первый план выходят принципиально новые технологические процессы обработки материалов и изготовления деталей. К таким процессам, в частности, относится технология металлургии гранул в сочетании с горячим изостатическим прессованием (ГИП). Гранульная технология используется главным образом при изготовлении деталей ответственного назначения из сплавов на основе никеля и титана. Сравнительный анализ механических характеристик и структуры литых и гранульных деталей из сплавов аналогичного химического состава выявил несомненные преимущества гранульных материалов, скомпактированных методом ГИП.

Во-первых, гранульные материалы имеют практически 100% плотность и не содержат дефектов, неизбежных при литье (пор, раковин, рыхлот, неметаллических включений). Во-вторых, структура этих материалов характеризуется мелким зерном, однородностью и изотропностью свойств независимо от размера сечения деталей, чего невозможно добиться при изготовлении деталей литьем, ковкой или штамповкой. Кроме того, в сравнении с литейными аналогами гранульные сплавы на основе никеля имеют в 1,3–1,5 раза большую прочность и в два с лишним раза большую пластичность. Механические характеристики гранульных титановых сплавов находятся на уровне деформированного металла. В связи с этим процесс ГИП стал неотъемлемой частью при производстве деталей ответственного назначения. Часто РК изготавливают из титановых или алюминиевых сплавов. В таблице для некоторых материалов РК приведены механические характеристики материалов при температуре 293 К и 20 К.



Рис. 7.1. Детали, целиком обработанные на станках с ЧПУ

В заготовках, получаемых методом ГИП, не только обеспечивается высокая прочность и пластичность материала, но и практически отсутствуют дефекты, достигается однородная мелкозернистая структура материала в сравнении с литым вариантом изготовления. Заготовка основного диска РК штампованная.

Лопатки РК формируются и одновременно сращиваются с основным диском методом ГИП. После прессования заготовки межлопаточные каналы РК не подвергаются механической обработке ввиду отсутствия технологических методов и средств. При испытаниях РК получены скорости, соответствующие разрушению, до 780 м/с в воздушной среде нормальной температуры и до 930 м/с в среде водорода при рабочей температуре.

Механические характеристики материалов

Материал	ρ , кг/м ³	σ_B , МПа		σ_{02} , МПа		ψ , %	
		293 К	20 К	293 К	20 К	293 К	20 К
Титановый сплав ВТ5–1КТ деформированный	4420	800	1500	750	1300	25	14
Титановый сплав ВТ6С деформированный	4450	850	1550	850	1500	25	-
Алюминиевый сплав АК6 деформированный	2750	470	630	390	470	33	20
Титановый сплав ВТ5–1КТ, полученный ГИП	4460	736	1324	687	1226	20	15

Разница между максимальной и минимальной разрушающими скоростями при комнатной температуре составляет всего 8%, для криогенных температур (60 К) значение разрушающей скорости вращения на 20–25% выше разрушающей скорости вращения при комнатной температуре. Диск, лопатки и бандаж колеса турбины выполняются из гранул за одно целое. Качество турбины контролируется ультразвуковым методом. В турбине, как и в других высоконагруженных деталях, механические характеристики материала контролируются испытаниями на растяжение стандартных образцов. При испытаниях в воздушной среде нормальной температуры получена скорость, соответствующая разрушению, до 725 м/с. При дли-

тельных испытаниях двигателей на повышенных режимах наблюдались дефекты на лопатках рабочего колеса второй ступени турбины, причиной которых явилось сочетание действующих высоких напряжений от центробежных сил бандажа и высокотемпературного водорода. К тому же, метод ГИП не позволяет получать заготовки с узкими глубокими полостями и каналами. В связи с этим широкое применение нашла технология изготовления рабочего колеса турбины из заготовки, получаемой методом газостатического прессования с последующей электрофизической обработкой узких межлопаточных каналов (рис. 7.2).

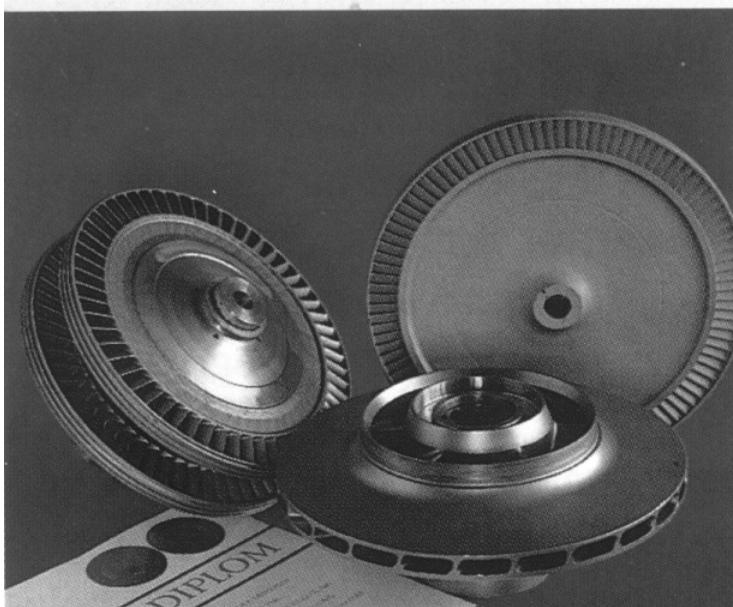


Рис. 7.2. Детали, из заготовок, получаемых методами ГИП с последующей ЭФО каналов

Одним из эффективных способов устранения внутренних литейных дефектов усадочного и газового характера является

высокотемпературная газостатическая обработка (ВГО). Такой обработке подвергаются отливки из нержавеющей стали, никелевых и алюминиевых сплавов после устранения внешних дефектов. После ВГО производится дополнительный контроль литейных дефектов в заготовках. С помощью ВГО устраняется до 50% дефектов типа рыхлот в отливках из нержавеющей стали и до 80% в отливках из никелевых сплавов. При этом наблюдается повышение плотности материала до 0,5%. В отливках из алюминиевых сплавов количество внутренних дефектов после ВГО уменьшается более чем на 50%. Как правило, ВГО назначается для ответственных деталей, к которым предъявляются повышенные требования по герметичности. В силу отмеченных достоинств высокотемпературная газостатическая обработка является неотъемлемой частью процесса производства высококачественных отливок (рис. 7.3).

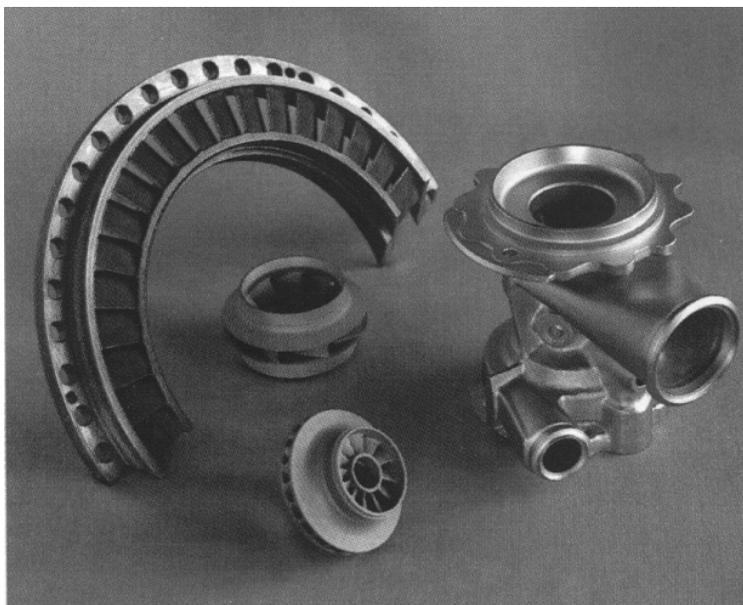


Рис. 7.3. Заготовки, получаемые методами литья по выплавляемым моделям

Применяя принципы групповой обработки, можно создавать комплексную технологию их получения, включающую операции и переходы индивидуальных технологических процессов. В рассматриваемых типовых деталях обрабатываются закрытые полости, в которые ограничен, или исключен доступ режущего инструмента. В этом случае приоритет отдается нетрадиционным комбинированным методам поверхностной обработки, сочетающим в одном процессе несколько видов воздействий различного рода (электрические, механические, лучевые, плазменные и т.д.). Вследствие низкой производительности таких технологий актуальным является получение заготовок с минимальными технологическими припусками или вовсе без них (например, с помощью аддитивных технологий).

7.3. Аддитивные технологии в литейном производстве

Технология подразумевает использование в качестве модельного материала специального фотополимера – светочувствительной смолы. Основой в данном процессе является ультрафиолетовый лазер, который последовательно переводит поперечные сечения модели на поверхность емкости со светочувствительной смолой.

Фотополимер затвердевает только в том месте, где прошел лазерный луч. Затем новый слой смолы наносится на затвердевший слой, и новый контур намечается лазером. Процесс повторяется до завершения построения модели. Стереолитография – наиболее популярная RP-технология для получения высокоточных моделей. Она охватывает практически все отрасли материального производства от медицины до тяжелого машиностроения.

SLA-технология позволяет быстро и точно построить модель изделия практически любых размеров. Качество поверхностей зависит от шага построения. Современные машины обеспечивают шаг построения 0,025 – 0,15 мм. Под

литьём полиуретановых смол, пластмасс и воска в силиконовые формы при изготовлении изделий малыми сериями понимают метод получения пластмассовых деталей или выплавляемых восковых моделей с помощью силиконовых форм. Этот метод также предполагает «участие» стереолитографии или послойного синтеза в любом другом виде. Суть данного метода состоит в том, что стереолитографическая модель используется в качестве мастер-модели для изготовления литейной оснастки – формы из силикона, с помощью которой в дальнейшем идет тиражирование пластмассовых деталей или «восковок».

Мастер-модель детали, заливают жидким силиконом. Силиконовая смесь приготавливается непосредственно перед получением формы в специальном смесителе и затем подается в опоку, обычно прямоугольной формы, в которой находится мастер-модель. Предварительно, с помощью специальных техно-логических приемов на мастер-модели формируется будущий разъем формы. В камере, где находится опока, создается вакуум, что обеспечивает удаление пузырьков воздуха из силикона. После полимеризации силикона форму разрезают и извлекают мастер-модель. Полученную форму используют для тиражирования «восковок» или для получения отливок пластмассовых деталей из специальных двухкомпонентных полиуретановых смол. Стойкость формы зависит от сложности модели и составляет в среднем 30-50, а иногда до 100 циклов заливки (рис. 7.4).

Принципиально технологии литья по восковым и полистирольным моделям не отличаются. Используются те же формовочные материалы, то же литейное и вспомогательное оборудование. Разве что восковая модель - «выплавляемая», а полистирольная модель - «выжигаемая». Отличия лишь в нюансах формования и термообработки опок. Однако эти нюансы имеют значение.



Рис. 7.4. Полистирольная модель и отливка

Работа с полистирольными моделями требует внимания при выжигании: выделяется достаточно много газов (горючих), которые требуют нейтрализации, материал частично выгорает в самой форме, есть опасность образования золы и засорения формы. Также нужно предусмотреть возможность стекания материала из застойных зон, безусловным требованием является использование прокалочных печей с программаторами, причем программа выжигания полистирола существенно отлична от программы вытапливания воска. Но в целом, при определенном навыке и опыте, литье по выжигаемым полистирольным моделям дает очень хороший результат (рис. 7.5).

К недостаткам технологии нужно отнести следующее. Процесс спекания порошка - это тепловой процесс со всеми присущими ему недостатками: неравномерность распределения тепла по рабочей камере, по массиву материала, коробление вследствие температурных деформаций.



Рис. 7.5. Полистирольная модель (после выращивания и инфильтрации) и отливка (чугун)

Во-вторых порошок полистирола не сплавляется, как например, порошки полиамида или металла, о которых речь пойдет ниже, а именно спекается - структура модели пористая, похожа на структуру пенопласта. Это делается специально для облегчения в дальнейшем удаления материала модели из формы с минимальными внутренними напряжениями при нагревании.

Для придания прочности и удобства работы с ней (сочленения с литниковой системой, формовки) модель пропитывают специальным составом на восковой основе - процесс называется инфильтрацией. Модель помещают в специальную печь и при температуре около 80°C пропитывают указанным составом (на фотографии показаны инфильтрированные модели красного цвета, из машины же извлекаются полистирольные модели снежно-белого цвета).

При опытном и мелкосерийном литье металлов непосредственно заливка металла происходит на установке литья с перепадом давления, которая позволяет создать вокруг литейной формы вакуум, а сразу после заполнения ее металлом «поддавить» избыточным давлением аргона только что залитый металл. Вакуум так же можно создать и внутри литейной формы, а так же в плавильной камере. Установки оснащают индукционным нагревом и 10-ти литровым

графитовым тиглем (27 кг AL, или 87 кг Бронзы), а плавка происходит в среде инертных газов.

Аддитивные технологии позволяют решать ранее не решаемые задачи, «выращивать» литейные модели и формы, которые невозможно изготовить традиционными способами. Радикально сократились сроки изготовления модельной оснастки. Развитие технологий литья, в том числе вакуумного, по формам и моделям, полученным аддитивными технологиями, дало возможность уменьшить время изготовления опытных образцов в несколько раз, а в ряде случаев серийной продукции – на порядок.

Уход от традиционных технологий, применение новых методов получения литейных синтез-форм и синтез-моделей за счет технологий послойного синтеза дало возможность радикально сократить время на создание новой продукции. Например, характерная для автомобильного двигателестроения деталь – блок цилиндров. Для изготовления первого опытного образца традиционными методами требуется не менее 6-ти месяцев, причем основные временные затраты приходится на создание модельной оснастки для литья «в землю».

Использование для этой цели технологии Quick-Cast (выращивание литейной модели из фотополимера на SLA-машине с последующим литьем по выжигаемой модели) сокращает срок получения первой отливки с полугода до двух недель (рис. 7.6).

Эта же деталь может быть получена менее точной, но вполне пригодной для данных целей технологией – литьем в выращенные песчаные формы на машинах типа S-Max.

Значительная часть «обычных» литейных изделий, не имеющих специальных требований по точности литья или внутренней структуры, может быть получена в виде готовой продукции в течение нескольких дней:



Рис. 7.6. Quick-cast модель и отливка блока цилиндров

– прямое выращивание восковой модели или Quick-cast-модели (1 день);

– формовка + сушка формы (1 день);

– прокалка формы и собственно литье (1 день).

Итого: 3-4 дня с учетом подготовительно-заключительного времени.

АФ-машины используют для получения:

– литейных моделей;

– мастер-моделей;

– литейных форм и литейной оснастки.

Модельные материалы:

– полистирол, полиметилметакрилат (для выжигаемых моделей);

– акриловые фотополимеры (для выжигаемых моделей и мастер-моделей);

– воск (для выплавляемых моделей);

– полиамид (для литейной оснастки);

– литейные пески (для литейной оснастки).

Технологический процесс вакуумного литья в опытном производстве обычно включает следующие этапы:

– получение мастер-модели (на станках с ЧПУ или АФ-оборудовании);

– получение силиконовой (или иной эластичной) формы;

– изготовление восковых моделей посредством вакуумного литья в силиконовые формы;

– проектирование и изготовление литниковой системы, установку восковой модели в сборе с литниковой системой в опоку;

– формование–заливка опоки формомассой, получение литейной формы;

– вытапливание восковой модели из формы и прокалку формы;

– установку опоки в вакуумную камеру литейной машины;

– собственно литье, извлечение опоки из вакуумной машины и охлаждение;

– удаление формомассы (размывка) и очистка отливки, удаление литниковой системы.

В MJM – процессе (Multi Jet Modelling), построение модели путем нанесения расплавленного материала с помощью многоструйных головок (по типу струйных принтеров). Модели строятся на 3D-принтерах с использованием специального модельного материала, в состав которого входит светочувствительная смола - фотополимер на акриловой основе, и литейный воск более 50% по массе).

Фотополимер является связующим элементом. Материал посредством многоструйной головки послойно наносится на рабочую платформу, отверждение каждого слоя производится за счет облучения ультрафиолетовой лампой. Модельный материал – литейный воск. Применяется для непосредственного выращивания восковой модели и дальнейшего получения металлической отливки методом литья в оболочковые или гипсо-керамические формы. Обеспечивает возможность быстрого

получения отливки из металла без изготовления литейной оснастки (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Оболочковая форма и и отливка корпуса турбины, полученные по восковой синтез-модели

В «стандартном» режиме толщина слоя построения 36 мкм, «высокоточном» режиме - 16 мкм. Точность построения (в зависимости от конфигурации, ориентации и размеров модели) 0,025-0,05 мм на длине один дюйм. Принтер позволяет надежно строить модели с толщиной стенок до 1 мм, в отдельных случаях до 0,8 мм. Крупные модели могут быть построены частями и затем склеены.

Недостатком технологии является относительно высокая стоимость расходных материалов. Тем не менее, эта технология имеет и неоспоримые преимущества - скорость получения модели и, не менее важное, высокое качество модельного материала с точки зрения собственно технологии литья по выплавляемым моделям (формовки, вытапливания модели).

Также особенностью данной технологии является наличие так называемых поддерживающих структур. Поддержки строятся для удержания нависающих элементов модели в процессе построения. В качестве материала для поддержек используется восковой полимер с низкой температурой

плавления, который после построения модели удаляется струей горячей воды. Современные машины имеют возможность работы на двух модельных материалах – литейном воске и акриловом фотополимере.

При *селективном лазерном спекании* модели создаются из порошковых материалов за счет эффекта спекания при помощи энергии лазерного луча. В данном случае, в отличие от SLA-процесса, лазерный луч является не источником света, а источником тепла. Попадая на тонкий слой порошка, лазерный луч спекает его частицы и формирует твердую массу, в соответствие с геометрией детали. В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и порошки некоторых металлов. Существенным преимуществом SLS-процесса является отсутствие так называемых поддержек при построении модели.

В процессах SLA и MJM при построении нависающих элементов детали используются специальные поддержки, предохраняющие свежестроенные тонкие слои модели от обрушения. В SLS-процессе в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведется в однородной массе порошка. После построения модель извлекается из массива порошка и очищается (рис. 7.8).

PSL (Plastic Sheet Lamination) – построение модели путем послойного склеивания ПВХ-пленки на 3D-принтерах, работающие по технологии PSL - Plastic Sheet Lamination. Такие устройства иногда называются LOM-машинами, от Laminated Object Manufacturing – послойное склеивание пленочных материалов, например, полимерной пленки или ламинированной бумаги с последующим формированием («вырезанием») модели с помощью лазерного луча или режущего инструмента. Например, 3D-принтер Solido SD 300 относится к категории самых дешевых RP-машин для быстрого прототипирования.



Рис. 7.8. Модели, полученные SLS

Модельным материалом служит полихлорвиниловая пленка толщиной 0,15 мм пяти цветов: полупрозрачная (янтарная), красная, синяя, кремовая, черная. Формирование модели производится путем последовательного склеивания слоев пленки и вырезания контура модели с помощью лезвия, закрепленного на подвижной головке.

Модель строится на специальной магнитной подложке, устанавливаемой на подвижной (вверх-вниз) платформе. Клеевой состав наносится на всю поверхность слоя пленки, а в те места, где после построения необходимо обеспечить легкое удаление пленки, наносится «анти-клей». Т. е. тело модели формируется за счет последовательного склеивания пленки, а «пустоты» остаются не склеенными, чтобы обеспечить легкое удаление «лишней» пленки из этих «пустот» в процессе последующей обработки. Анти-клей наносится с помощью специальных «карандашей» или «фломастеров» с различным диаметром стержня 1, 3 и 6 мм. В зависимости от размеров полости модели, которую необходимо сформировать, используется соответствующего размера фломастер.

Модели из ПВХ-пленки могут использоваться в качестве мастер-моделей при литье в силиконовые формы полиуретановых смол, а также восковых моделей для последующего литья металлов по выплавляемым моделям. Точность

построения на 3D-принтере в пределах 0,1..0,12 мм на длине 150 мм по всем осям.

7.4. Аддитивные технологии синтеза литейных форм

Литейные формы - это отдельный и большой раздел АФ-технологий. Особо динамичное развитие получило направление непосредственного выращивания песчаных форм для литья металлов, а также выращивание металлических изделий, в частности, пресс-форм для литья пластмасс. Здесь, как нигде, в полной мере находит практическое воплощение принцип «безбумажных технологий»: производство изделия в принципе не нуждается в сопровождении посредством традиционной бумажной документации в виде чертежей, технологических карт и т. д.

Меняется и традиционный подход к кадровому обеспечению работ. Конструктор и технолог работают не последовательно, а параллельно и зачастую конструктор выполняет функцию технолога, создавая параллельно с САД-моделью детали САД-модели технологической оснастки для литья детали.

Для производства песчаных литейных форм используется две АФ-технологии:

- послойное спекание плакированного песка лазерным лучом (фирма EOS);
- послойное нанесение связующего состава или Inkjet-технология (ProMetal).

Первая технология - это разновидность упомянутой выше SLS-технологии, с той лишь разницей, что в качестве модельного материала используется литейный (силикатный или циркониевый) предварительно плакированный полимером песок.

После спекания получается так называемая «грин-модель» (в смысле - «сырая»), которая требует весьма аккуратного обращения при очистке. Для облегчения этого про-

цесса, очищенные места сразу же обрабатывают пламенем газовой горелки, закрепляя их таким образом. После очистки фрагменты формы помещают в прокалочную печь и окончательно (при температуре 300-350 °С) отверждают массив формы.

Вторая технология похожа на MJM-технологию с той разницей, что на рабочую платформу впрыскивается не строительный материал, а связующий состав. Конструкционный же материал (литейный песок) подается и разравнивается на рабочей платформе послойно с шагом 0,2-0,4 мм аналогично SLS-системам. В этом случае дополнительной термообработки формы не требуется.

Независимо от метода построения собственно формы, алгоритм действий конструктора-технолога практически одинаков. Последовательность операций выглядит следующим образом:

- создается CAD-модель изделия (см. рис. 7.9);
- назначаются припуска на обрабатываемые поверхности;
- согласно рекомендациям технолога проектируется литниковая система, которая сочленяется с основной CAD-моделью;

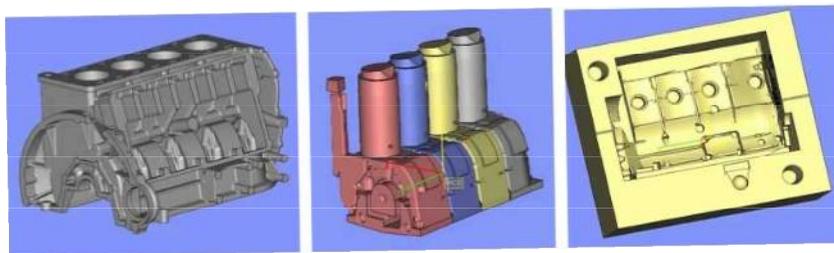


Рис. 7.9. CAD-модели блока цилиндров и фрагментов песчаной формы для его отливки

– создается модель (будущего) песчаного блока - обычно в виде параллелепипеда, куда заключена технологическая CAD-модель;

–затем блок разрезается на несколько частей в зависимости от размеров рабочей камеры АФ-машины;

–создаются негативы - «отпечатки» технологической модели в песчаном блоке или его фрагментах; таким же образом методом вычитания создаются модели стержней;

–в завершение процесса проектирования создаются stl-файлы формы.

Далее - дело техники, а именно технологической АФ-машины, которая строит фрагменты формы.

После завершения построения фрагменты песчаной форма с известными предосторожностями собирают: стыкуют, герметизируют швы, устанавливают холодильники и т. д.

Затем - собственно заливка металла, остывание, извлечение и очистка (предварительная обработка) отливки (рис. 7.10).



Рис. 7.10. Сборка формы и отливка (чугун)

7.5. Аддитивные технологии и порошковая металлургия

В данном разделе речь пойдет о новых технологиях с еще неустоявшейся терминологией, находящихся на стыке разных традиционных технологий, и которые невозможно отнести к

какой-либо из них. Имеется в виду, в частности, так называемая технология *spray forming*.

Она объединяет в себя и литейные знания, поскольку имеет место плавка металла, и технологии распыливания металла, а это сфера знаний порошковой металлургии, и знания по металлографии, а это вопросы общего металловедения, при этом в конечном итоге мы получаем то же, что и при литье в изложницу - заготовку, но это не просто заготовка: она также получается посредством послойного синтеза, что и роднит технологию *spray forming* с АФ-технологиями.

Spray forming - новая технология получения заготовок из конструкционных и специальных сплавов посредством распыливания (атомизации) металла, предложена в суть технологии заключается в послойном напылении металла на подложку и «выращивании» болванки (заготовки) для последующей механообработки. Металл расплавляется в плавильной камере и затем посредством специального сопла распыляется потоком инертного газа, частички металла (размером 10-100 мкм) осаждаются на подложку, формируя таким образом массив болванки (рис. 7.11).

В отличие от литой заготовки, полученной простым сливом металла в изложницу, болванка, изготовленная методом *spray forming*, имеет высокую однородность микро- и макроструктуры материала.

Технология «*Spray forming*» разработана в первую очередь для изготовления ответственных деталей аэрокосмического назначения из специальных сплавов с повышенными требованиями. Однако она нашла коммерческое применение и в серийном производстве, в частности, для изготовления гильз цилиндров из сплава AL-Si для двигателей автомобилей Мерседес.

Данная технология успешно применяется для получения заготовок из сплавов, склонных к ликвации при кристаллизации, в частности, медь-содержащих сплавов, используемых для производства суперпроводников (CuSn),

высокопрочных инструментов (CuMnNi , CuAlFe) для нефтедобывающей и горнорудной промышленности.

Равномерность распределения ингредиентов по массиву заготовки и равномерность микроструктуры являются главными преимуществами данной технологии. К недостаткам следует отнести относительно высокие потери материала - до 20%, при атомизации и осаждении металла на подложку и относительную сложность управления процессом, требующим высоких профессиональных навыков персонала.

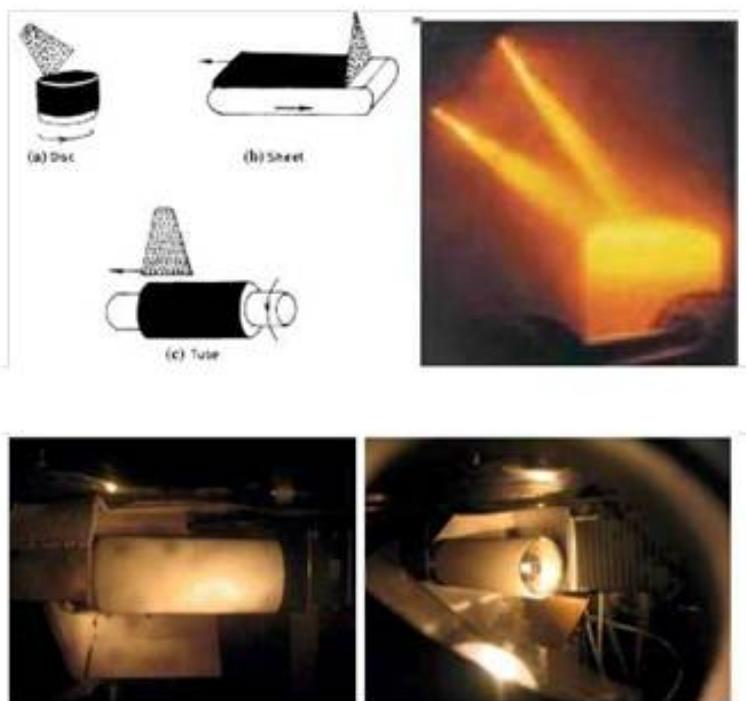


Рис. 7.11. Схемы технологии Spray forming для получения цилиндрической заготовки (болванки)

К особенностям процесса следует отнести наличие микропор в структуре материала, появление которых связано с захватом молекул газа при атомизации и осаждении частичек металла и с «неплотным» спеканием частиц друг с другом при кристаллизации. Пористость металла устраняют посредством горячего изостатического прессования (ГИП) и последующей обработки давлением - прокатки иликовки.

Платформа с подложкой, на которой «выращивается» заготовка может совершать возвратно-поступательное движение - тогда получается заготовка в виде ленты, или вращательное движение относительно оси потока распыливаемого металла - для получения цилиндрической заготовки в виде болванки, или вращательное движение относительно оси, перпендикулярной оси потока - для получения заготовки типа «кольцо» или «труба».

Технология spray forming открывает широкие возможности для создания так называемых градиентных материалов (с переменными по сечению физико-химическими свойствами), которые могут быть получены путем послойного нанесения различных материалов через - два (или более) распылительных сопла.

В связи с развитием и повышением технического уровня прототипирующих машин может представлять интерес практическое применение технологии Spray forming для получения изделия путем напыления металла на керамическую модель (реплику). Суть технологии в следующем.

По CAD-модели на прототипирующей машине, например SLA-установке, выращивается стереолитографическая мастер-модель. По ней изготавливается силиконовая или RIM-форма, в форму заливают жидкую керамику и получают керамическую модель-реплику, которую затем устанавливают в Sprayforming-машину, где на керамическую модель послойно напыляют расплавленный металл.

Таким образом получают «слепок» с керамической реплики. После механической обработки (удаления облоя и

обработки в размер по посадочным поверхностям) получают конечное изделие. Наиболее интересна эта технология для получения пресс-форм и технологической оснастки вообще.

Компания RSP Tooling (RSP - Rapid Solidification Process) является разработчиком нового способа изготовления инструментальной оснастки с использованием технологии Spray forming. Машина RSP (рис. 7.12) представляет собой сочетание плавильной машины и атомайзера (устройства для распыливания).



Рис. 7.12. Машина RSP для изготовления инструментальной оснастки

Металл (различные сплавы широкого спектра) плавится в тигле в инертной атмосфере и под давлением направляется к распылительному соплу, где посредством струи азота происходит мелкодисперсное дробление жидкого металла и быстрое отверждение частиц. Около 70% частиц «долетают» до керамической модели уже в твердом состоянии, остальные 30 - в

полужидкой фазе. Оставшегося тепла достаточно, чтобы связать (сварить) между собой все частицы.

Исследования показали, что металл имеет более однородную и мелкозернистую структуру с менее выраженной сегрегацией, чем при литье. Частицы металла налипают на керамическую модель, формируя тело «слепка». Платформа, на которой закреплена керамическая модель, имеет возможность перемещения в пространстве рабочей камеры машины и оператор, поворачивая платформу, обеспечивает равномерное нанесение металла. После завершения процесса и остывания в течение полутора-двух часов керамическая модель извлекается из металлического «слепка» и производятся стандартные технологические операции: механо- и термообработка. Машина RSP может изготавливать детали с максимальными размерами 180x180x100 мм. Продолжительность рабочего цикла 3-4 часа. Таким образом, в течение одного рабочего дня может быть изготовлено 2-4 изделия. Одним из преимуществ данной технологии является возможность получения биметаллических композиций. Например, рабочая часть кокиля формируется из специальной стали, а тело из обычной недорогой стали или цветного металла с повышенной интенсивностью теплоотдачи. Данная технология вышла на уровень промышленного применения и представляет несомненный интерес. Примеры деталей ракетных двигателей, полученных из гранульных заготовок никелевых сплавов по технологии Spray forming приведены на в разделе 5 на рисунке 7.10.

Сплавы Al-Zn-Cu-Mg традиционно относятся к высокопрочным материалам, однако дальнейшее улучшение их прочностных характеристик сдерживается макросегрегацией, возникающей в заготовке, получаемой литьем. Технология spray forming ослабляет эти проблемы. Сплавы, полученные новым способом, показали более высокую ударную вязкость и усталостную прочность, чем кованный алюминий.

Одним из ограничений в применение сплавов Al-Li является анизотропия у деталей, изготавливаемых из литых

заготовок. Сплав, полученный по технологии spray forming с увеличенным содержанием лития, имеет улучшенную изотропию, экспериментально показано отсутствие проблем с растрескиванием отливки и макросегрегацией, которые отличаются содержанием кремния 70% по весу, такой сплав невозможно получить методами литья из-за катастрофического охрупчивания вследствие выпадения крупных зерен кремния при кристаллизации и засорения оксидами

Получен сплав с содержанием лития 4% по весу, имеющий плотность 2,4 г/куб. см и с удельной жесткостью на 30% выше, чем у обычных алюминиевых сплавов. Были также получены сплавы Al-Cu-Mg-X с улучшенными по сравнению с литейными сплавами прочностными свойствами и износными характеристиками при повышенных температурах. Одним из самых важных достоинств данной технологии является возможность создания новых материалов с уникальными свойствами, а также разнообразных покрытий.

Получены композиционные материалы (ММС, metal matrix composite), в которых матричная основа усилена керамикой до 15% по объему, и которые показали повышенную жесткость и сопротивление износу. Эти материалы изготовлены путем вдувания частиц керамики в распыленный поток металла в процессе осаждения металла по технологии spray forming. Получен уникальный материал Al-Si. Из алюминия могут быть получены сплавы с заданным коэффициентом термического расширения (постоянным в широком диапазоне температур), которые имеют большие перспективы применения в микроволновых устройствах и пленочных радиаторах, использующихся в телекоммуникационных системах, аэрокосмической и оборонной промышленности.

Большие перспективы данная технология имеет для создания новых конструкционных наноструктурных материалов, в частности, для дальнейшего развития отечественной технологии ИПД - интенсивной пластической деформации. Известно, что ИПД методом, например, равноканального угло-

вого прессования - РКУП, уже сейчас позволяет получать массивные наноструктурные заготовки размерами до $\text{Ø}85$ и длиной до 300 мм, пригодные для использования в машиностроении. При реализации РКУП заготовка неоднократно продавливается в специальной оснастке через два пересекающихся под углом 90 градусов канала с одинаковыми поперечными сечениями при комнатной или повышенной температурах, в зависимости от деформируемого материала (рис. 7.13).



Рис. 7.13. Схема процесса РКУП

«Наноструктурность» материала получают за счет очень малого размера зерен, содержат в структуре большое количество границ зерен, которые играют определяющую роль в формировании их необычных физических и механических свойств. При «традиционных» методах упрочнения - прокатке, волочении, ковке повышение прочности материала, как

правило, сопровождается уменьшением его пластичности. Наноструктурированные за счет ИПД материалы имеют высокую прочность и уникальную пластичность. Для формирования наноструктур методом ИПД весьма важными являются не только число проходов, но и однородность исходного массива, равномерность распределения веществ, составляющих сплав, по объему исходного материала. Технология spray forming позволяет получить хорошо подготовленный для ИПД материал.

Интересным и перспективным направлением использования наноматериалов является подшихтовка ультрадисперсных порошков в распыливаемый расплав основного, матричного металла. Такой метод дает возможность создания уникальных сплавов с *равномерным* включением в объемную структуру металла наночастиц различных материалов - металлов, включая редкоземельные, оксидов и пр. Здесь же приведем некоторые данные об оборудовании - атомайзерах, с помощью которого могут быть реализованы проекты с использованием технологии spray forming.

Процесс распыливания металла (и получения порошка) - атомизация (от англ. atomization - распыление) различен в зависимости от исходного металла. Обычно атомайзер содержит плавильную камеру, где в условиях вакуума или инертной среды производят расплав металла, и распылительную камеру, где струю расплавленного металла, вытекающую из плавильной камеры, разбивают на мелкие капли с помощью высокоскоростного потока аргона, воздуха или водяного пара в зависимости от исходного металла и требований к форме частичек порошка.

Конструкция машин позволяет получать металл в слитках (слив в изложницу), либо в виде порошка, либо в виде spray forming-заготовки. Слитки получают для последующей обработки давлением (прокат, ковка) и проведения необходимых исследований. Владение такой техникой, кроме возможности проводить широкий круг научно-иссле-

довательских работ в области создания перспективных технологий и материалов, снимает зависимость исследователей от поставщиков металлических порошков, позволяет создавать в требуемом количестве «свои» порошки для решения конкретных задач, а также обеспечивать расходными материалами АF-машины для послойного синтеза совсем готовых деталей без последующей механической обработки.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите основные понятия и опишите виды аддитивного производства.
2. Расскажите сущность метода стереолитографии при получении литейных моделей.
3. Приведите примеры использования других аддитивных технологий в литейном производстве.
4. Дайте технологическую классификацию аддитивных методов синтеза литейных форм.
5. Для какой цели используются технологии Quick-Cast?
6. В чем заключается построение модели путем послойного склеивания ПВХ-пленки на 3D-принтерах?
7. Опишите порядок производства песчаных литейных форм с использованием АF-технологии.
8. Приведите примеры аддитивной технологии в порошковая металлургия для заготовительного производства наукоемких лопаточных машин.
9. Какие могут быть получены композиционные материалы с помощью технологии spray forming?
10. Каким образом реализуется возможность создания уникальных сплавов с равномерным включением в объемную структуру металла наночастиц различных материалов?
11. Опишите метод равноканального углового прессования и его возможности по наноструктурированию материалов.

8. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СИНТЕЗА ОСНАСТКИ

8.1. Область использования «металлических» АМ-технологий в изготовлении оснастки

Обычно, когда говорят о серийном производстве, подразумевают количество, измеряемое тысячами или сотнями тысяч единиц. Однако существует и другое серийное производство, измеряемое десятками или сотнями изделий. Таких изделий, зачастую сложной геометрии, из специальных материалов достаточно много в авиационной промышленности, космической индустрии, энергетическом машиностроении и ряде других отраслей.

Именно там возник интерес к АМ-технологиям, «непосредственному выращиванию» металлических изделий, в качестве альтернативы традиционным технологическим методам для производства не прототипов или опытных образцов, а вполне товарной продукции. Причем мотивацией здесь является не возможность создать что-то уникальное, с необычными свойствами, а экономическая целесообразность. В ряде случаев при объективных расчетах реальных затрат аддитивные технологии оказываются менее дорогостоящими, чем традиционные.

Одним из перспективных направлений применения АМ-технологий является изготовление технологической оснастки - приспособлений и инструментов для серийного производства. В частности, изготовление вставок для термопласт-автоматов (рис. 8.1).

Современное пост-индустриальное производство характеризуется относительно быстрой сменой продуктов, причем часто меняются не основные компоненты, определяющие функциональные качества продукта, а дизайн - корпусные детали, элементы декора, обычно изготавливаемые литьем, в частности и на термопласт-автоматах. По этой причине в ряде случаев отпадает необходимость в дорогостоящей инструментальной оснастке, выдерживающей десятки и сотни тысяч циклов. Посредством АМ-технологий можно

сделать матрицу или пресс-форму из легкого сплава с меньшим ресурсом.

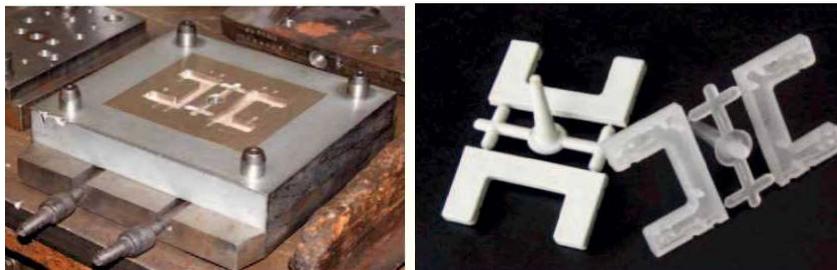


Рис. 8.1. Вставка для термопласт-автомата и отливки из ABS-пластика

Но и для традиционного литейного производства технологий АМ-технологии дают новые возможности. Например, пресс-форма может быть выращена вместе с каналами охлаждения произвольной конфигурации, что невозможно сделать при обычных методах механической обработки. АМ-машины POM, Omtomec и Fabrisonic успешно используют для изготовления пресс-форм с медными охлаждающими сердечниками, а также с так называемой конформной системой охлаждения, конфигурация которой соответствует геометрии формируемой детали (рис. 8.2).

Иными словами каналы охлаждения прокладываются в массиве формы так, как необходимо, а не так, как позволяют традиционные методы.

Применение литейных форм с равномерным или регулируемым охлаждением позволяет сократить время пребывания отливки в форме до 30%. В данном случае АМ-технологии это не противопоставление традиционной ЧПУ-обработке, а предложение новых возможностей для оптимизации затрат и повышения эффективности производства.

Обслуживание серийного производства также связано с необходимостью изготовления специальных приспособлений, шаблонов, кондукторов и т. д., и здесь применение АМ-технологий может быть экономически эффективно. Многие компании сталкиваются с проблемой оценки реального объема производства ка-

кого-либо изделия. От этого зависят затраты на технологическую подготовку.

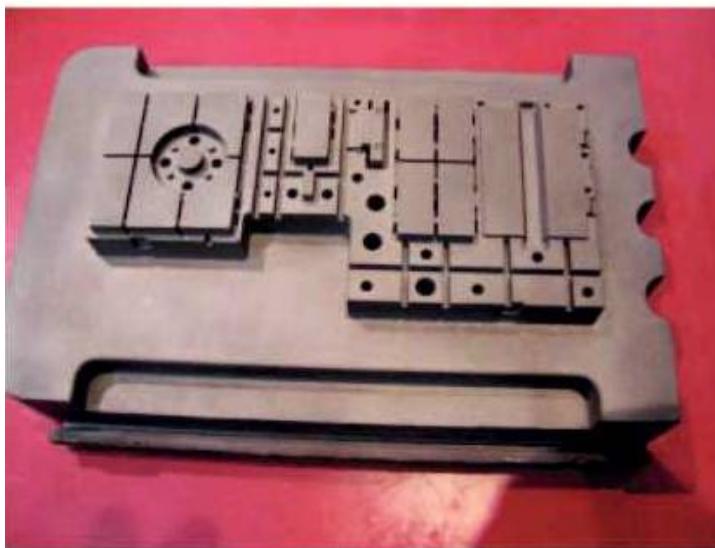


Рис. 8.2. Выращенная пресс-форма

И все чаще возникает вопрос, какую стратегию принять: вырастить партию деталей на АМ-машине, или делать «нормальную» оснастку, но с риском, что через короткое время потребуется внесение изменений и оснастку придется переделывать, или, что продукт «не пойдет» на рынке по каким-либо причинам?

Фундаментом коммерческого успеха предприятия является постоянное обновление выпускаемой продукции.

Конкуренция на рынке товаропроизводителей заставляет в новых проектах, кроме повышения технических характеристик, постоянно совершенствовать эстетический дизайн и эргономические параметры, использовать новые материалы, но-

вые технологические процессы. Новые формы требуют более сложной оснастки.

Затраты на подготовку производства возрастают в геометрической прогрессии по мере продвижения к моменту выпуска изделия. Это связано с многочисленными корректировками конструкции деталей, оснастки - из-за недочетов в дизайне, ошибок конструирования (по результатам испытаний опытных образцов и оснастки).

Запаздывание с «выходом» на рынок приводит к потерям части ожидаемого дохода. Сократить время подготовки производства и затраты возможно, применяя современные технологические процессы, в том числе технологии послойного синтеза.

8.2. Организация производства оснастки при применении технологии послойного синтеза

Изготовление на первых этапах разработки эскизов и моделей является определяющим дальнейшую разработку изделия. Важно знать мнение заказчиков об изделии до запуска его в производство. На этом этапе оптимизируются ключевые критерии при производстве изделий - качество и стоимость. Хотя возможности визуализации образа (модели) в современных системах весьма высоки (и продолжают совершенствоваться), это не может заменить точной физической модели будущего изделия, которая помогает в предметном диалоге конструктора изделия с конструктором оснастки быстро и на ранних стадиях разработки оптимизировать конструкцию с точки зрения её технологичности, стоимости проектирования и изготовления литейной формы, её испытаний, при необходимости - доработки, в итоге - оптимизировать фактическую стоимость готовой продукции.

Перед запуском изделия в производство желательно тщательно проверить не только её конструкцию, но и возможность

выполнения функциональных требований, в частности, собираемости. Чтобы конструкция изделия не претерпела в дальнейшем существенных изменений, не обойтись без проведения ряда реальных испытаний.

Прочные, термостойкие полимерные, а также металлические и керамические материалы, применяемые в технологии послойного синтеза, позволяют проводить такие испытания, по результатам которых корректируется компьютерная модель; подобные процедуры могут, если необходимо, повторяться, не требуя изготовления дорогостоящей оснастки, экономя время и средства на переделках пресс-форм.

Современные технологии послойного синтеза позволяют получать опытные или малые партии деталей, свойства которых если не абсолютно, то очень близко соответствуют свойствам деталей, полученных в массовом производстве с применением традиционных способов переработки пластмасс (это направление получило название Rapid Manufacturing - быстрое производство). Для производства опытных образцов и малых партий наукоёмких изделий применяют так называемую «быструю» оснастку, недорогую и нетрудоемкую в изготовлении.

Например, эластичные силиконовые формы, которые эффективны для получения 20-50 отливок. Наиболее часто они используются для получения опытных образцов и небольших партий пластмассовых деталей любой сложности и габаритов, копирования деталей и выплавляемых моделей по методу литья в вакууме. Отливаемые детали и копии могут быть эластичными, жесткими, термостойкими, стойкими к ультрафиолету, прозрачными, различных цветов - в зависимости от перерабатываемых материалов. Хотя принцип изготовления деталей копированием в эластичных формах известен давно, технико-экономическая пригодность метода, т.е. обеспечение размерной точности, возможность воспроизведения мельчайших деталей сложных форм, любой текстуры поверхности и цвета, а также возможность обеспечения различной твердости

и термостойкости реально подтверждается в настоящее время.

Металлополимерные формы. Уже более сорока лет эпоксидные материалы используются для изготовления форм при выпуске опытных партий пластмассовых изделий. В последние годы, благодаря программному 3D-проектированию и развитию технологии послойного синтеза, стал возможен качественный скачок в применении эпоксидных смол для литевых металлополимерных форм:

- компьютерная модель детали легко модифицируется (с учетом конкретной усадки);

- на основании компьютерной модели детали легко получить «негатив» - формообразующие части оснастки;

- технологии послойного синтеза позволяют получить за короткое время мастер-модели для оснастки.

Но основным толчком в применении металлополимерных форм стало появление эпоксидной («инструментальной») смолы с высокими характеристиками по прочности, теплопроводности, усадке, термостойкости. Существуют такие формы для прессования и литья под давлением деталей из термопластов.

В формах с формообразующими из металлополимерной композиции обычно используют нормализованные плиты, толкатели и ряд других элементов. В случае изменений в конструкции детали или необходимости изготовления деталей большего количества, чем ресурс металлополимерной формы, изготавливается её дублер. Для этого изношенные формообразующие детали извлекаются из плит, а новые «перезаливаются» по вновь изготовленной мастер-модели. Нормализованные элементы конструкции формы используют повторно.

Технология изготовления металлополимерных форм имеет определенные преимущества, например, перед фрезерованием легкообрабатываемых материалов.

Во-первых, поскольку обработка и доводка наружных элементов в несколько раз проще, чем внутренних, постольку гораздо эффективнее глубокие формообразующие участки по-

лучать копированием мастер-модели, доведенной до необходимого качества выступающих поверхностей.

Во-вторых, обеспечивается смыкание по линии разъема формообразующих частей. В процессе изготовления металлополимерной формы формообразующие детали получают последовательной заливкой эпоксидной («инструментальной») смолы на мастер-модель. После отверждения одной из частей металлополимерной формообразующей и удаления подмодельной плиты, т.е. плоскости, следующая заливка «абсолютно» повторяет поверхность предыдущей. Для многоэлементных форм это огромное преимущество.

В-третьих, легко обеспечивается практически любая фактурированная поверхность. При заливке металлополимерная композиция копирует фактуру поверхности мастер-модели, которую просто получить предварительной механической обработкой, окрашиванием специальными красками, наклейкой фактурированной пленки.

Селективное лазерное спекание порошковых материалов. Производители установок селективного лазерного спекания предлагают широкий ассортимент материалов:

- термопласты, в том числе композитные;
- эластичные термопласты;
- термопласты для получения выжигаемых моделей.

Для изготовления металлических формообразующих вставок применяют композитные материалы - металлический порошок с полимерным наполнителем. Спекание «идет» по полимерному наполнителю. Это весьма важно для обеспечения точности формы, позволяет изготавливать формообразующие с минимальным припуском. Следующий этап - инфильтрация (пропитка) бронзой уже спеченной в установке модели. Этот процесс осуществляют вне установки.

Селективное лазерное плавление металла. Селективное лазерное плавление - это последовательное послойное расплавление порошкового металлического материала с помощью лазерного излучения. Методу присущи определенные про-

блемные моменты, последовательное решение которых привело к разработке различных вариантов, получивших собственные названия, например, в установках Realizer фирмы MCP-НЕК GmbH метод называется Selective Laser Melting, а в установках Concept Lazer GmbH - Lazer CUSING.

Получение формообразующих вставок для форм с минимальным припуском - одно из эффективных применений таких установок. Но наиболее ценно - это возможность получения каналов охлаждения вблизи рабочей поверхности вставок, т.е. создание конформного охлаждения, позволяющего сократить технологический цикл литья детали, т.е. повысить производительность, а значит - снизить стоимость производства деталей.

Так как для технологии послойного синтеза нет особых ограничений в получении сложной геометрии деталей, каналы охлаждения можно располагать практически по любой траектории, близкой к конфигурации формирующей полости, что расширяет технологические возможности средств оснащения.

8.3. Выбор технологии послойного синтеза оснастки

Производители оборудования для технологии послойного синтеза постоянно его совершенствуют: увеличивается скорость построения, повышается точность, предлагается широкая гамма материалов. Все это положительно отражается на общем имидже технологии послойного синтеза.

Критерии оценки различных технологий послойного синтеза, которые могут повлиять на конкретный выбор:

–максимальные габариты детали, которую можно построить, применяя конкретную технологию послойного синтеза (однако, при современных возможностях, большие детали могут быть изготовлены по частям и затем собраны в одну деталь);

–скорость построения модели (однако, разница в 2-3 часа между однотипными технологиями послойного синтеза разных производителей имеет не такое уж большое значение в общем

времени подготовки производства, которое составляет обычно несколько недель или месяцев);

– применяемые материалы - существенный критерий, особенно при использовании технологии послойного синтеза в производстве оснастки;

– точность изготовления модели, которая зависит от точности воспроизведения системой разработанной САД-модели, свойств материала и способа его обработки и, в какой-то степени, от толщины слоев при построении; стоимость производства детали конкретной технологии послойного синтеза, которая определяется стоимостью самой системы (величиной амортизационных отчислений в структуре цены детали), эксплуатационных расходов по обеспечению работы технологии послойного синтеза, стоимостью материала. металла

Машины, как и технологии, можно разделить на две основные группы. Первая группа - Bed Deposition. SLS-машины представлены на рынке наиболее многочисленной по производителям и разнообразной по моделям группой. Большая часть компаний-производителей использует в своих машинах лазер в качестве источнике энергии для соединения частиц металл-порошковых композиций. К ним относятся:

- Arcam (Швеция);
- Concept Laser (Германия);
- EOS (Германия);
- Phenix Systems (Франция);
- Realizes (Германия);
- Renishaw (Великобритания);
- SLM Solutions (Германия);
- 3D Systems (США).

Компания Arcam одна из немногих, которая использует в своих машинах EBM-технология, где вместо лазера работает электронный луч (рис. 8.3). Особенности технологии, во всяком случае, сейчас ограничивают размер пятна электронного пучка в зоне расплава диаметром 0,2 -1,0 мм, тогда как при ис-

пользовании лазера эта величина на порядок меньше. Поэтому в плане чистоты поверхности и точности EBM-технологии уступают лазерным SLM-технологиям.



Рис. 8.3. Машина Arcam

Однако существует множество приложений, когда деталь «обречена» на финишную обработку на ЧПУ, будь она получена литьем или с помощью AM-технологий. В этих случаях чистота поверхности построенной детали не имеет значения, более важным является плотность и однородность материала. И здесь технология Arcam имеет преимущество.

Ряд независимых экспертов отмечает, что при сравнительно низкой частоте поверхности плотность материала деталей от Arcam выше, и его структура лучше, чем при использовании лазерных технологий. Если принять во внимание высокую производительность EBM-машин - 55-80 см/ч против 2-20 см³/ч у аналогичных по размерам лазерных машин, то

станет понятно, почему эти машины занимают доминирующее положение в сфере производства титановых протезов, имплантов и др. более-менее серийной продукции медицинского назначения. Компания продала более 100 систем в десять стран мира. Особенностью технологии Arcam является то, что процесс посроения детали происходит в камере, предварительно отвакуумированной до $<1 \times 10^{-4}$ мбар. Газовая среда - воздух или иной газ, создает слишком высокое сопротивление электронному лучу, поэтому рабочую камеру вакуумируют. Но это позволяет получать качественные изделия из титана и титановых сплавов. При этом обеспечивается приемлемая точность построения - на уровне $\pm 0,2$ мм на длине 100 мм.

Практически все перечисленные машины либо в базовой версии, либо опционально могут работать с наиболее востребованными на индустриальном рынке металлопорошковыми композициями: инструментальные стали (типа H13), мартенситностареющие стали (типа 18%NiMaraging 300), алюминиевые сплавы (AlSiMg, AlSi2), чистый титан и его сплавы (типа Ti6Al4V и особо чистый Ti6Al4V ELI), сплавы Co-Cr, жаропрочные стали (Inconel и др.).

Почти все компании, использующие лазер, по-разному называют свои технологии, вероятно, чтобы таким образом как-то отличит себя на рынке от конкурентов, однако по технической сути все они являются технологиями селективного лазерного сплавления - SLM-технологиями, но именно это название негласно закреплено за компанией SLM Solutions.

Общей особенностью технологий, использующих лучевой источник тепла, является необходимость применения специальных поддержек - своеобразных якорей, которые удерживают строящуюся деталь от термических деформаций. При построении деталей из полимерных порошков в этом нет необходимости, деталь при построении находится в массиве порошка, и неспеченный порошок сам выполняет функцию поддержек. При сплавлении металлических порошков концентрация тепловой энергии в рабочей камере чрезвычайно

высока, и без удерживающих «якорей» деталь может «уплыть», покоробиться и даже повредить элементы дозирующей системы машины.

Соответствующее программное обеспеченнее АМ-машины предлагает оператору конфигурацию поддержек, но многое зависит и от оператора, от его опыта и мастерства - часто приходится редактировать предлагаемое машиной решение. Кроме того, удаление поддержек - это достаточно ответственный процесс. Необходимо, во-первых, снять остаточные напряжения. Для этого нужно иметь соответствующее термическое оборудование. Во-вторых, необходимо иметь подходящий инструмент для аккуратного отделения построенной детали от платформы и последующего удаления поддерживающих структур. В-третьих, необходимо оборудование для постобработки построенных деталей. Кроме того, АМ-машины - это целый комплекс, включающий в себя устройства для просеивания и смешения порошков, загрузки, разгрузки и очистки машины, системы фильтрации и охлаждения, системы хранения порошков, системы генерации и подачи инертных газов и др. Все это необходимо иметь ввиду при решении вопроса о приобретении такой машины для рационального обустройства места инсталляции.

8.4. Обработка оснастки после послойного синтеза

Безразмерная обработка. При применении технологии послойного синтеза на поверхности модели, детали образуется слоистая структура. Для неотчетственных участков изделия достаточно применения дробеструйной, пескоструйной, стеклоструйной, гидроабразивной, вязкоабразивной и т.п. обработка и ручной доводки.

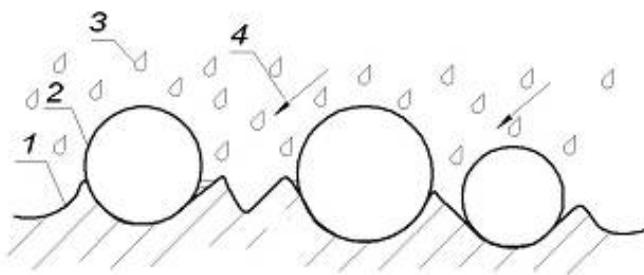
Для достижения высокого качества поверхностного слоя внутренних поверхностей оснастки сложной формы] наиболее перспективна технология комбинированной обработки с использованием токопроводящих микрогранул и газожидкостной

рабочей среды. Предложенный способ комбинированной обработки внутренних поверхностей деталей токопроводящими микрогранулами с наложением низковольтного электрического поля в условиях использования газожидкостной слабопроводящей среды позволяет организовать в протяженном отверстии поток постоянно и равномерно (не менее 95% сплошности покрытия) воздействующего поэтапно на все участки прерывистой поверхности, создавая равномерный наклеп.

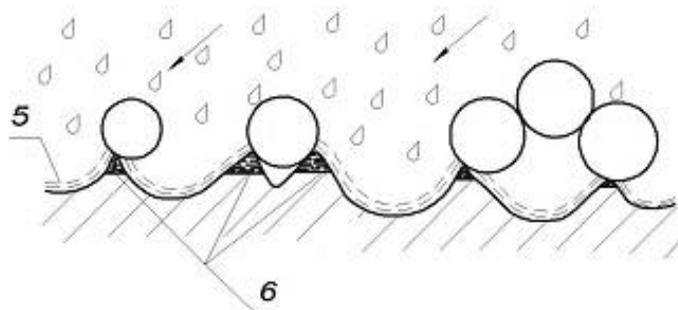
Выравнивается и снижается технологически наследованную шероховатость за счет интенсивного анодного растворения сдеформированных и уплотненных микрогранулами вершин микровыступов. Последнее позволяет обеспечить стабильность силовых и электрохимических параметров комбинированного воздействия микрогранул на всей длине проточной части деталей. На рис. 8.4 показаны основные стадии предложенного способа комбинированной обработки.

Получение равномерной степени наклепа и устранения микротрещин по всей обрабатываемой поверхности достигается тем, что обработка поверхностей по предлагаемому способу заключается в подаче на обрабатываемые поверхности сжатым воздухом потока микрошариков.

Процесс обработки проходит в два последовательных этапа в газожидкостной слабопроводящей среде с наложением низковольтного электрического поля. Полости синтезированной оснастки отличаются нестабильностью исходного макрорельефа поверхности. Микротрещины в поверхностном слое могут выходить на поверхность или оставаться замкнутыми в материале подповерхностного слоя и выходить на поверхность в процессе эксплуатации оснастки под действием знакопеременных нагрузок из-за пульсаций рабочего давления при формовке заготовок.



а)



б)

Рис. 8.4. Схема и основные этапы реализации процесса: 1 – деталь оснастки; 2 – микрошарики; 3 – токопроводящая газо-жидкостная среда; 4 – направление движения микрошариков; 5 – жидкостная пленка; 6 – микровыступы

Внутренние рабочие поверхности, особенно сложного профиля, имеют в большинстве случаев различные пазы и полости, недопустимые уступы, трещины и погрешности формы, выходящие зачастую за допуски на номинальные размеры, что в случаях гидродинамического, абразивного трения, знакопе-

ременных нагрузок резко снижают работоспособность дорогостоящего в изготовлении и эксплуатации оборудования.

Формирование благоприятного для различного рода эксплуатационных свойств поверхностного слоя проходит в несколько этапов. Во-первых, на исходную дефектную поверхность 1 (рис. 7.4,а) с направлением к ней 4 под углом β не более 60° подают микрошарики 2 более крупной фракции (150-200 мкм), которые за счет деформационного сдвига перераспределяют выступы и впадины и залечивают микродефекты.

Наличие жидкостной токопроводящей среды 3 образует постоянно обновляющуюся пленку жидкости и препятствует перегреву мест соударений гранул с поверхностью и образованию остаточных напряжений растяжения, а также ускоряет процесс за счет явления анодного растворения материала. Затем, подают более мелкую фракцию микрошариков 2 (50-80 мкм), которая окончательно выравнивает микроповерхность (рис. 7.4,б). Выравнивание микрогеометрии значительно зависит от скорости анодного растворения в месте микровыступов 6, которая в момент контакта шарика с деталью через жидкостную токопроводящую пленку 5 резко увеличивается из-за повышения удельной проводимости в месте соударения и тогда время обработки составляет около 15 с на участок эффективного пятна распыла.

Технологическое оборудование и оснастка часто имеют внушительные габариты. В связи с этим настройка процесса происходит при проверке и корректировке предварительно рассчитанных режимов на имитаторе внутренней прерывистой поверхности (рис. 8.5). На основе разработанного способа обоснован механизм обработки, в котором комбинированное воздействие является обобщенным управляемым процессом формирования высоких стабильных показателей качества поверхностного слоя.



Рис. 8.5. Имитатор с настоечными образцами в камере струйно-динамической установки

Механизм комбинированного воздействия представляет собой совокупность двух процессов, происходящих одновременно: механического воздействия гранул на внутреннюю прерывистую поверхность и анодного растворения при низких напряжениях, исключающих короткие замыкания между гранулами и обрабатываемым материалом. Анодный процесс растворения микронеровностей происходит под действием тока в слабопроводящей жидкой пленке технической воды, подаваемой в зону обработки в распыленном до капельной фракции виде одновременно с микрогранулами. Окисные пленки на микрогранулах и на заготовке утончаются и разрушаются, при этом достигается плотность тока, необходимая для анодного растворения поверхностного слоя материала заготовки. Разреженная капельная фракция жидкостной составляющей практически не мешает микрогранулам получать от напора сжатого воздуха кинетическую энергию,

достаточную для деформирования и осадки микровыступов и подается в зону обработки отдельно от микрогранул.

Для того, чтобы единичного контакта (или серии контактов) было достаточно для выравнивания микрогеометрии за счет механического воздействия и анодного растворения осуществляется управление энергией соударений. Так как микрогранулы подают в зону обработки струйным методом, то и параметры процесса изменяют регулированием кинетической энергии потока, варьируя расход и давление сжатого воздуха. Конкретную концентрацию капельной фракции устанавливают экспериментально на настроечном имитаторе, исходя из обеспечения постоянной жидкостной пленки.

При моделировании режимов процесса принимаются исходные данные:

- физико-механические свойства материала микрогранул и детали;

- радиус кривизны (диаметр) обрабатываемой поверхности;

- исходная и требуемая величина наклепа поверхностного слоя и высота микронеровностей.

Для очень точных участков требуются другие подходы.

Например, при подготовке стереолитографических мастер-моделей для изготовления металлополимерных форм на поверхность модели наносится контрастная краска (рис. 8.6).

Далее проводится механизированное тонкое шлифование поверхности до исчезновения рисок от покраски (рис. 8.7).

Некоторые современные технологии послойного синтеза предлагают различные по толщине слоя стили построения. Например, в установках SLA от фирмы 3D Systems реализован стиль построения с толщиной слоя 0,025 мм. В этом случае значительно уменьшается объем ручных доводочных операций.



Рис. 8.6. Поверхность модели, окрашенной контрастной краской

С другой стороны, скорость построения слоя для систем технологии послойного синтеза - величина фиксированная, общее время построения модели определяется количеством слоев. Возможность изменять стиль построения предоставляется на выбор заказчику.

Размерная обработка. При изготовлении металлических вставок для форм с применением технологии послойного синтеза получить точную геометрию только ручной доводки бывает недостаточно, особенно обеспечить точное сопряжение отдельных вставок и поверхность разъема.

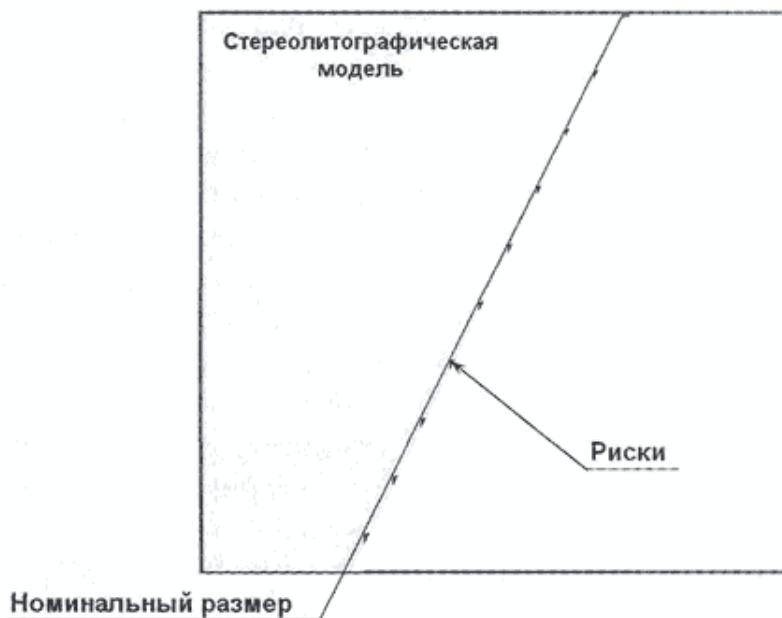


Рис. 8.7. Поверхность модели после шлифования до исчезновения рисок

Металлические заготовки вставок, как при селективном лазерном спекании, так и в селективном лазерном плавлении, строятся с припуском 0,3-0,5 мм. Получение окончательной геометрии вставки - финишная обработка, ведется с применением станков с ЧПУ, фрезерованием контура, электроэрозией (при необходимости), т.е. обычными методами. Для обеспечения контроля на всех этапах обработки уже при конструировании формы необходимо предусмотреть базовые точки измерения. Значительно упрощает межоперационные переходы использование специальных систем позиционирования. Так, например, установки фирмы CONCEPT Laser позволяют начинать формирование вставок на основании EROWA, которые обеспечивают позиционирование выращен-

ных вставок с микронной точностью на всех этапах обработки и измерений

Оцифровка и контроль геометрии. Оцифровка, т.е. получение информации не только об отдельных точках, но и геометрии в целом, имеет важнейшее значение для сложных элементов оснастки, изготавливаемых по конкретной технологии послойного синтеза.

Например, оптическая система оцифровки и измерений ATOS фирмы GOM GmbH позволяет за короткое время с высокой точностью оцифровать объект с поверхностью любой сложности и получить информацию о размерах и отклонениях от CAD-модели.

При этом решаются задачи, возникающие на этапе изготовления оснастки:

– оцифровка геометрически сложных объектов (мастер-модели, вставки и оснастка в целом);

– сравнение оцифрованного объекта с математической моделью или с эталонным образцом и получение результатов (в виде цветовой градации) о величинах отклонений в сечениях, точках;

– компьютерный анализ сопряжения оцифрованных элементов оснастки;

– инспекционный контроль оснастки, полученной от сторонних производителей.

На этапе налаженного производства названная выше система решает задачу выявления дефектов оснастки, её износа и позволяет производить периодическую аттестацию.

Сдерживают внедрение технологии послойного синтеза, как обычно, значительные первоначальные затраты на приобретение необходимого оборудования, которое окупается довольно длительное время.

Применяя, начиная с ранних стадий подготовки и реализации проекта, технологии быстрого изготовления моделей и оснастки, в конечном счете, как показывает опыт, возможно

сэкономить до 40% средств и вдвое сократить сроки «выхода» нового изделия на рынок. Не случайно в последние годы ежегодно мировой рост продаж установок технологии послойного синтеза увеличивается на 30%.

Реализация организационных и технологических решений по применению систем технологии послойного синтеза позволит:

- повысить отдачу капиталовложений и снизить риски перехода к новому дизайну продукции;

- проводить практическое изучение рынка (СНГ и западных стран) и постоянное обновление моделей продукции;

- разработать стратегию выпуска продукции на долгий период; повысить имидж предприятия;

- подготовить финансовые решения по развитию предприятия;

- обеспечить возможность для постоянной модификации дизайна выпускаемой продукции.

Получается наиболее эффективно в том случае, когда конкретная технологии послойного синтеза приобретается вместе с технологическими решениями, учитывающими конкретные требования и специфику работы предприятия и пакетом гарантированных условий подготовки специалистов, способных решать поставленные технические задачи.

При технической подготовке производства наукоёмких изделий они должны быть четко проблемно ориентированы

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните роль аддитивных технологий в получении заготовок для нагруженных деталей перспективных изделий.

2. Приведите область использования металлических АМ-технологий в изготовлении оснастки для наукоемких изделий.

3. Организация производства оснастки при применении технологии послойного синтеза из металлических порошков.

4. Как проводится выбор конкретной технологии и оборудования послойного синтеза оснастки для заготовительного производства наукоемких машин?

5. Приведите примеры использования других аддитивных технологий в производстве средств технологического оснащения.

6. Дайте технологическую классификацию аддитивных методов синтеза средств технологического оснащения из металлических порошков.

7. Как происходит обработка оснастки для наукоемких машин после послойного синтеза?

8. В чем заключается безразмерная обработка после применения технологии послойного синтеза для неотчетливых участков поверхности оснастки?

9. Опишите целесообразность использования специальных систем позиционирования при финишной обработке оснастки машин после послойного синтеза для упрощения межоперационных переходов.

10. Приведите примеры размерной обработки для ответственных участков поверхности оснастки

11. Какие задачи решают оцифровка и контроль геометрии для сложных элементов оснастки, изготавливаемых методом послойного синтеза?

9. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

9.1. Организация САПР станочных приспособлений

Программное обеспечение, выполняющее функции проектирования станочных приспособлений, не должно заменять собой конструктора, т.е. не должно быть похожим на модель, которую оно представляет. Система автоматизированного проектирования должна осуществлять разделение функций между ЭВМ и конструктором. Ввод-вывод информации осуществляется на основе диалога, который строго регламентируется самой задачей. Следовательно, модель диалога должна строиться на основе описаний входного и выходного интерфейса. На рис. 9.1 представлена структурная схема входной информации для автоматизированного проектирования приспособлений.

Согласно приведенной схеме, весь входной информационный поток можно разделить на два вида: конструкторская информация или геометрические и качественные характеристики обрабатываемого изделия; характеристики технологического процесса, или режимы обработки детали, параметры оборудования, данные о режущем инструменте.

Роль конструктора станочных приспособлений при данной схеме заключается в анализе входной информации, подготовке её и вводе. Учитывая, что диалог – это регламентированный обмен информацией, перед разработчиком встаёт вопрос разработки входного и выходного интерфейса приложения, предназначенного для решения подобных конструкторских задач.

Разработка регламента обмена информацией – наиболее трудоёмкий этап разработки проблемно-ориентированных приложений, по мнению авторов, его можно отнести к постановке задачи.

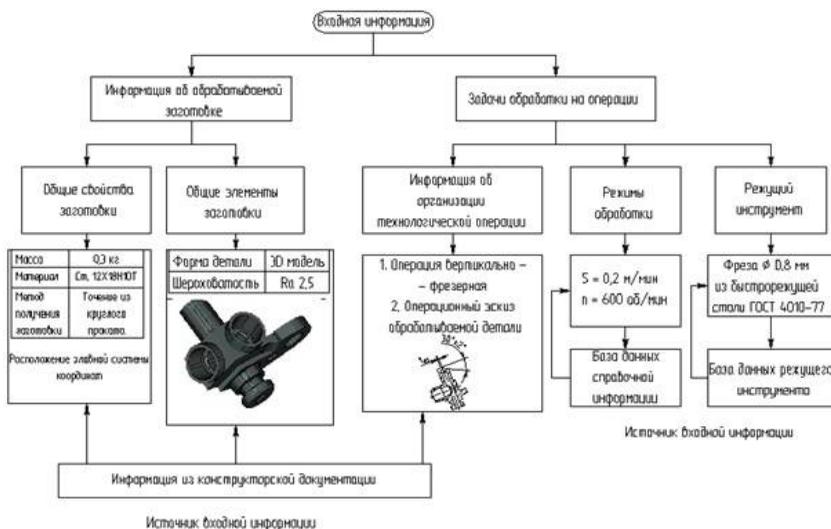


Рис. 9.1. Структурная схема входной информации для автоматизированного проектирования приспособлений

В этом случае на помощь разработчику должен прийти опытный конструктор (конструкторы), имеющий опыт в проектировании в той области, для которой разрабатывается специализированное приложение. На рис. 9.2 представлен диалог проектирования шайбы, входящей в конструкцию приспособления. Это удачный пример конструкторской задачи, так как геометрические параметры проектируемого изделия известны заранее и пользователю остается лишь ввести их числовые значения.

Намного проблематичнее реализация интерфейса для ввода не априорной информации, в этом случае следует учитывать особенности реализуемой задачи, и именно в этом случае для реализации задачи должен подключаться опытный

конструктор. С его помощью разработчик программного обеспечения оценивает значимость параметров, их размерность, строит структуру интерфейса ввода-вывода приложения.

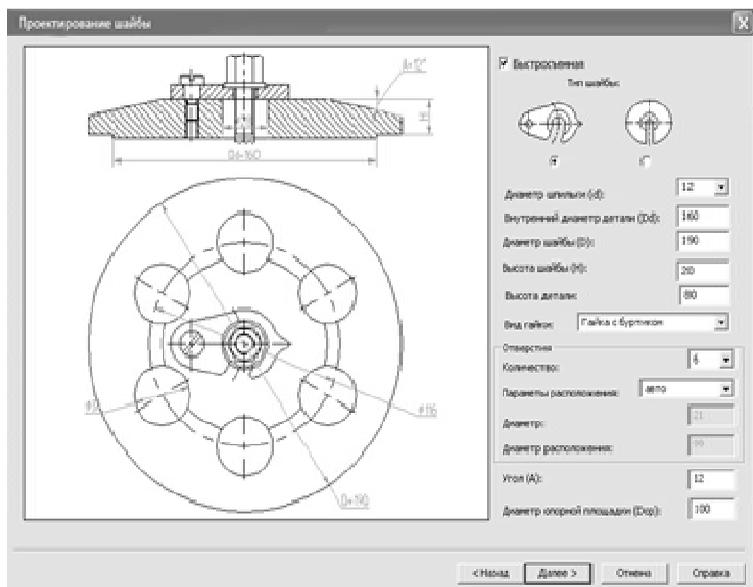


Рис. 9.2. Диалоговое окно проектирования шайбы

При реализации выходного интерфейса следует учитывать вид информации: промежуточная – предназначенная для анализа и поиска дальнейших решений при проектировании приспособлений, и выходная – участвующая в формировании выходной документации. При расчете сил закрепления определяется место их приложения и направления, а также величины сил резания и моменты их воздействия на обрабатываемую деталь. Силы резания вычисляются по известным зависимостям, прописанным в информационной базе приложения.

Выходная документация для изготовления приспособлений формируется на основе требований ГОСТ и представляет собой комплект чертежей, спецификаций, описаний и т.п. Эта документация формируется в виде твердой копии на бумажных носителях, а также в виде электронной версии, предназначенной для использования в системах автоматизированного проектирования технологических процессов.

Оценка параметров процесса автоматизированного проектирования приспособлений возможна на основании показателей качества или оценки точности выходных показателей системы. В случае разработки САПР СП возможна оценка достоверности, выдаваемой системой конструкторской документации. И в этом случае диалог приобретает такое же важное значение, как и сам алгоритм расчёта. Ошибки при вводе информации могут привести к неудовлетворительному качеству работы всей системы, а также к получению брака в конструкторской документации.

Во многих практических приложениях критерии оценки выбирают на основе интуитивного представления о целевом назначении оценки, но в настоящее время разработаны теории автоматизации выбора, как критерия оценки, так и ее реализации, такие системы построены на основе нейронных сетей. Но возможно встраивание алгоритмов оценки параметров уже в интерфейс приложения, современные аппаратные средства позволяют с успехом реализовать эту структуру.

Усложнение алгоритма задачи не приведет к существенному увеличению дополнительных затрат на разработку, так как система оценки параметров на базе нейронных сетей может быть реализована на основе отдельного модуля, который можно заказать у стороннего разработчика или приобрести уже существующие разработки.

Даже не производя количественных оценок уровня организации диалога САПР, можно сделать заключение о его эффективности на основании выводов экспертов. Эксперты могут

давать общую оценку эффективности САПР или оценивать приложения по заранее определённым параметрам. При реализации приложения САПР СП давалась общая оценка эффективности с учетом полноты представления информации, адекватности отражения, интуитивности интерфейса.

Разработку диалога модели следует вести с использованием библиотек, входящих в состав инструментального средства, используемого при разработке. Использование библиотек позволило сократить время создания САПР СП и избежать излишних затрат на разработку пользовательского интерфейса приложения. К тому же интерфейсы приложения выполнены в едином стиле Windows, что позволяет пользователю быстро освоить работу в САПР СП.

Таким образом, соблюдение требований, изложенных в данном разделе, соблюдаемых при разработке диалога специализированной САПР, позволяет быстро и эффективно реализовать приложение, позволяющее разрабатывать комплект конструкторской документации станочного приспособления.

Проект должен иметь вид, пригодный для дальнейшего изготовления оснастки методами быстрого прототипирования из различных конструкционных материалов.

9.2. Организация интеграции системы проектирования в комплекс программных средств на предприятии

В настоящее время предлагается целый комплекс интегрированных программных средств автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Программные продукты решают следующие задачи:

– в области CAD (Computer Aided Design): 2D и 3D моделирование с использованием новейших технологий параметризации, ассоциативных сборок, диалогового управления проектами и другими специальными инструментами; подготовка конструкторской документации

(чертежи, спецификации и т.д.) в соответствии со всеми Российскими стандартами; поддержка стандартных форматов ХТ/ХВ, IGES, STEP, STL, DXF, DWG.

Использование мощного геометрического ядра Parasolid позволяет создавать модели сложной геометрии, что делает инструменты программ эффективными не только для машиностроения, строительства, радиотехники, но и для авиа-, судостроения.

Система локализована (имеет переведенный интерфейс, документацию, поддерживает стандарты) для Германии, США и Китая, где постоянно увеличиваются примеры успешного внедрения.

– в области САМ (Computer Aided Manufacturing): технологическая подготовка производства, подготовка программ для станков с ЧПУ и проверка программ имитацией обработки.

– в области САЕ (Computer Aided Engineering): динамический и кинематический анализ; автоматизированное проектирование приспособлений для металлорежущих станков; расчеты зубчатых передач, пружин; оптимизация листового раскроя; поддержка инженерных решений при проектировании штамповой технологической оснастки, пресс-форм для термопластавтоматов, электродвигателей.

– в области САРР (Computer Aided Process Planning): технологическая подготовка производства – выбор технологического оборудования и инструмента, проектирование оснастки, разработка маршрутных и операционных технологий, расчеты режимов и нормативов обработки.

– в области PDM (Product Data Management): поддержка жизненного цикла изделий, технологическая подготовка производства, создание технологической и нормативно-сметной документации, управление проектами и техническим документооборотом (рис. 9.3).

Выделяют несколько основных положений, делающие комплексы программных средств более привлекательными:

1. Все системы, входящие в комплекс, полностью интегрированы между собой, т. е. передача информации от одной системы к другой осуществляется за счет внутренней связи между модулями.

2. Система содержит разработки в соответствующих областях автоматизированного проектирования, которые учитывают специфику российского производства (стандарты, технические условия, оборудование и т.д.).

3. Каждая из систем может работать в комплексе, в любой комбинации или в автономном режиме, что позволяет гибко и поэтапно решать задачи оснащения средствами автоматизации подготовки производства на любом предприятии.

4. Наличие модуля технологической подготовки производства, глубоко интегрированного с системой проектирования изделия, делает комплекс уникальным на рынке средств автоматизации проектирования и подготовки производства. Комплекс поддерживает клиент–серверные технологии, позволяющие эффективно управлять производственными процессами и их подготовкой.

5. Открытый программный интерфейс систем комплекса позволяет предприятиям и независимым разработчикам разрабатывать (и интегрировать) свои приложения и САПР.

Предлагаемый комплекс программных средств – удачное по функциональным показателям решение для внедрения ИПЖЦИ (CALS) технологий (информационная поддержка жизненного цикла изделия) на отечественных предприятиях.

9.3. Автоматизированное проектирование приспособлений для последующего прототипирования

Разработанная система представляет собой программную оболочку в виде пошагового диалога проектирования,

подключаемую к системе параметрического проектирования T-FLEX CAD . Система состоит из программной оболочки, библиотеки специальных деталей, конструктивных элементов и стандартных элементов СП.

При проектировании СП часто возникает необходимость создания специальных деталей конструкции. Для этого конструктору необходимо вычертить профиль будущей детали, создать 3D модель, точки привязки, системы координат и т. д. Разработанная система позволяет проектировать специальные элементы станочных приспособлений, не прибегая к черчению, тем самым сокращая время проектирования всего приспособления. Это достигается при помощи созданной библиотеки прототипов специальных деталей. В диалогах программы конструктор может выбрать форму выталкиваемого профиля модели (рис. 9.4).

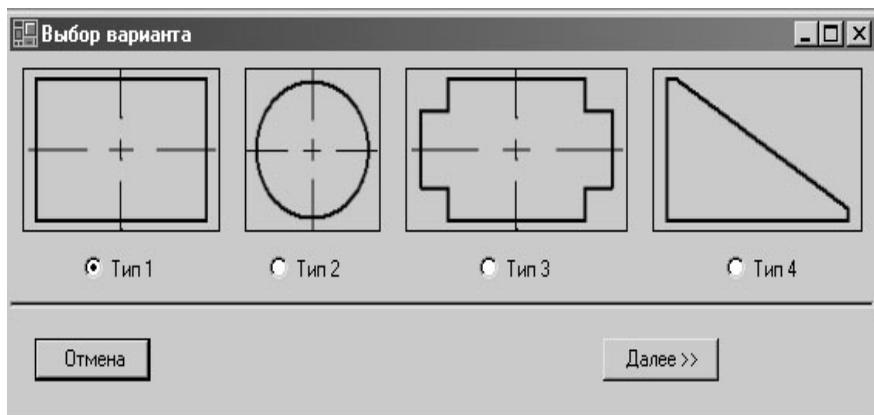


Рис. 9.4. Выбор формы профиля

Затем - вид детали сбоку (рис. 9.5), а также добавить конструктивные элементы.

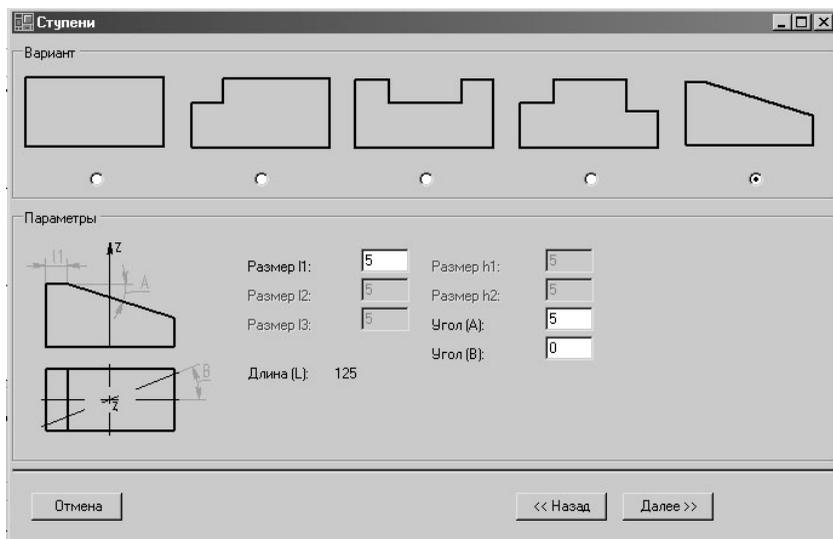


Рис. 9.5. Выбор формы детали сбоку

Для каждого выбранного профиля в программе существует диалог геометрических параметров. Например, для формы 1 (рис. 9.6).

В каждом прототипе созданы 3D узлы, к которым можно привязывать другие элементы сборки. Узлы располагаются на оси модели, в середине ребер верхней и нижней грани, а также в центрах боковых граней.

В диалоге проектирования конструктор указывает, какие узлы ему необходимы для привязки. Рассмотрим пример создания стойки. В начале проектирования конструктору предлагается задать имя файла проектируемой детали, а также имя сборки. Если задать имя сборки, то по окончании проектирования созданная деталь будет вставлена в сборочный файл.

Первая деталь представляет собой квадратную плиту 100×100 мм.

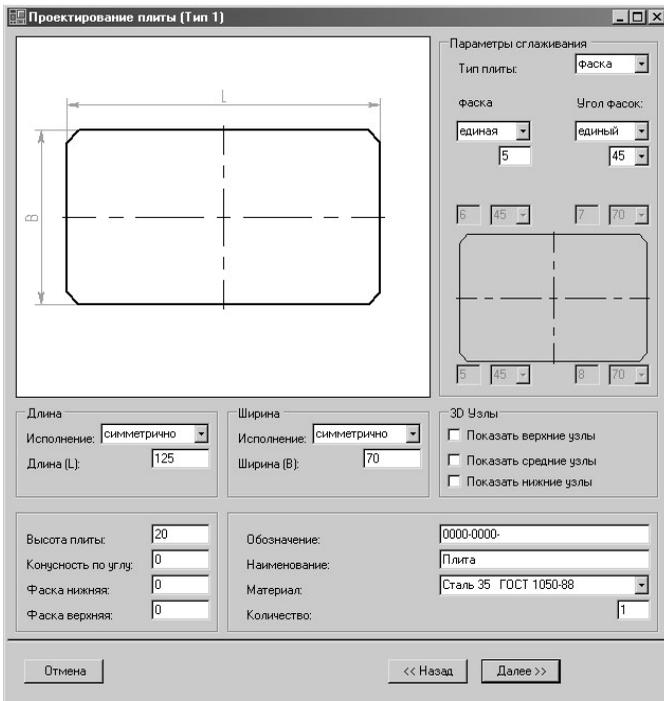
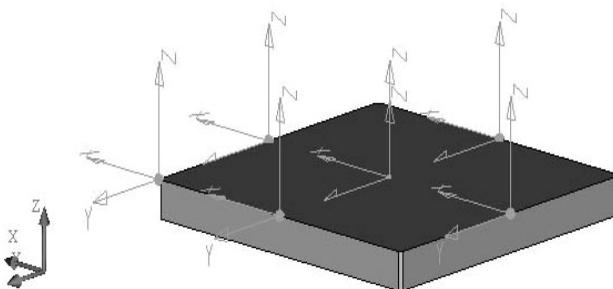


Рис. 9.6. Проектирование прямоугольной плиты

Укажем в диалоге проектирования плиты – «Показать верхние узлы» (рис. 9.7).



9.7. Первая деталь с точками привязки

Далее проектируем вторую деталь и вставляем в сборку.

Указываем систему координат в середине ребра на первой детали и точку вставки второй детали и редактируем положение второй детали относительно оси координат (рис. 9.8).

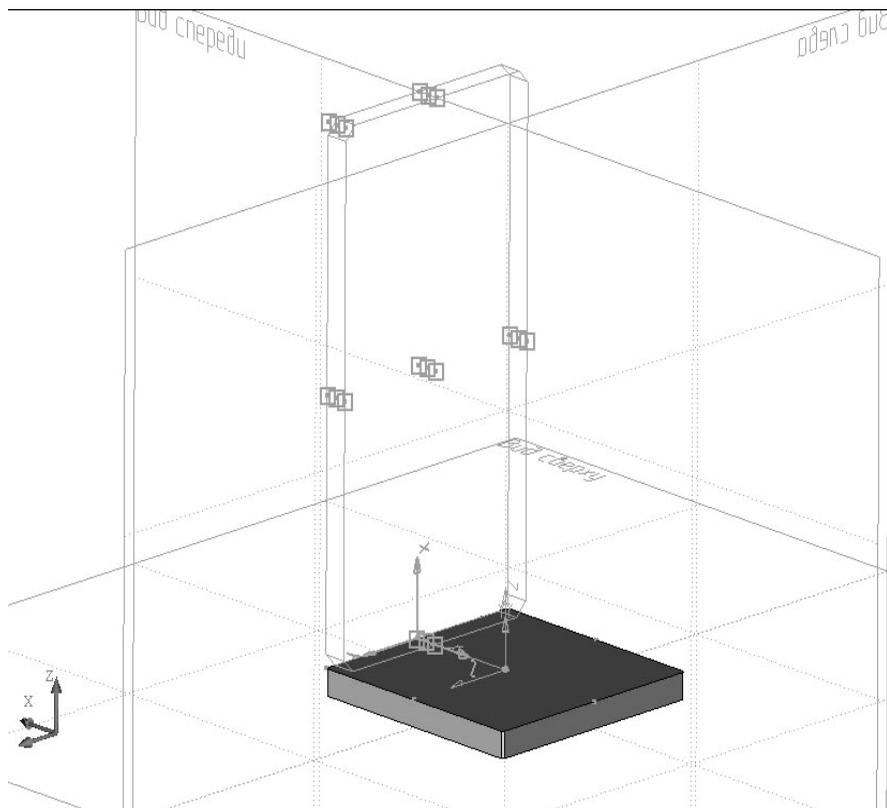


Рис. 9.8. Редактирование положения и вставка второй детали

Таким же образом проектируем и вставляем третью деталь (рис. 3.9).

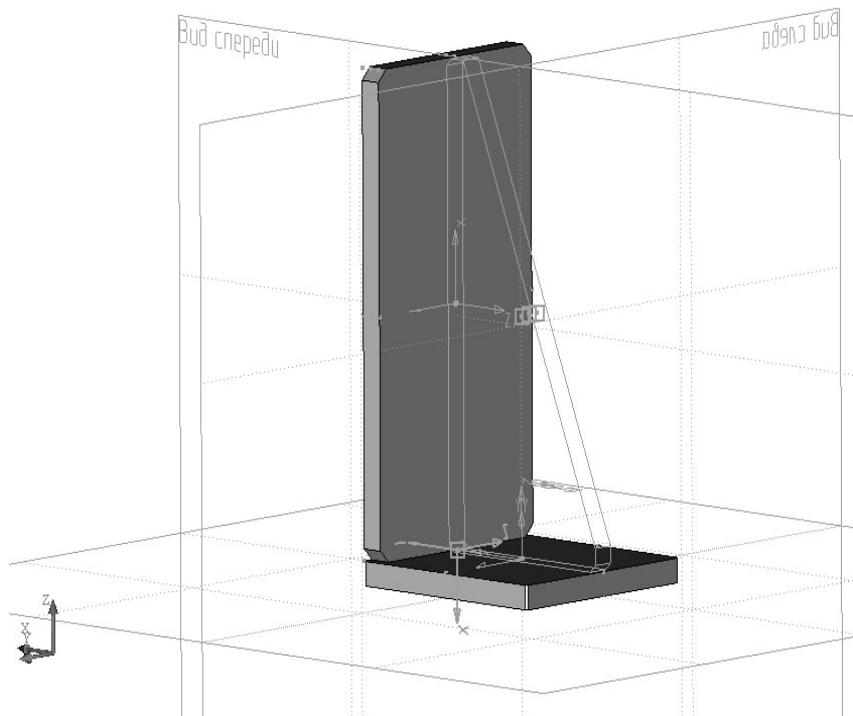


Рис. 9.9. Редактирование положения и вставка третьей детали

После сборки узла изменим первую деталь и добавим крепежный паз рис. 9.10.

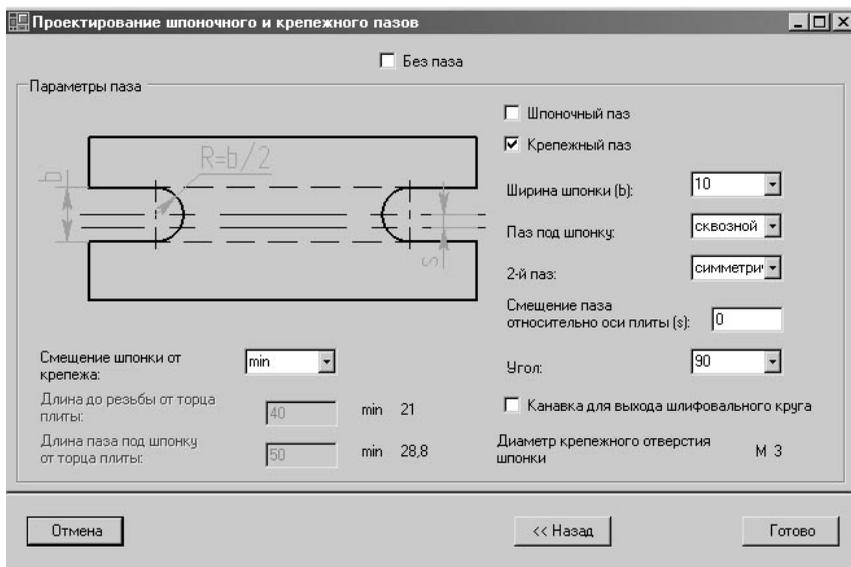


Рис. 9.10. Диалог шпоночного паза

Таким образом мы получили сварную стойку с крепежным пазом (рис. 9.11).

Спроектированная стойка заносится в библиотеку станочных элементов для использования ее в других конструкциях. На саму стойку генерируются ассоциативные виды и оформляется чертежная документация.

Сформированная таким образом база данных в последующем интегрируется в информационный массив технических средств для реализации технологий быстрого прототипирования в условиях многономенклатурного производства наукоемких изделий.

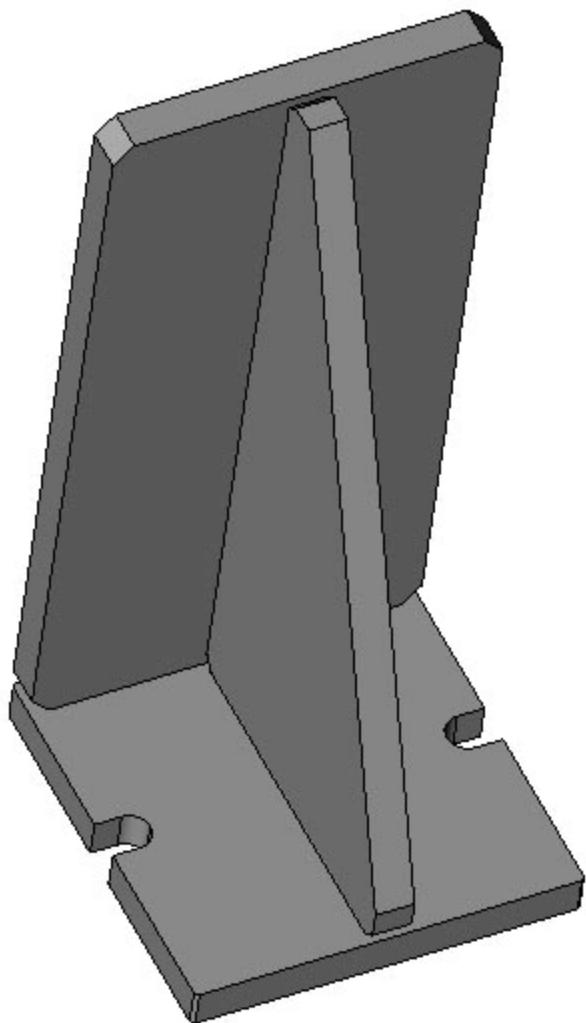


Рис. 9.11. Стойка

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные принципы создания системы автоматизированного проектирования станочных элементов и других средств технологического оснащения.

2. Выделите несколько основных положений, которые делают современные комплексы САПР наиболее привлекательными для технологической подготовки производства изделий.

3. Из каких элементов состоит комплекс интегрированных программных средств автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства изделий.

4. Виды и основное содержание различных работ по организации интеграции системы автоматизированного проектирования в комплекс программных средств на предприятии по выпуску наукоемких изделий.

5. Поясните важность системы автоматизированного проектирования и комплекса программных средств для конструкторской и технологической подготовке производства.

6. Каким образом с САПР формируется информационная поддержка жизненного цикла изделия на отечественных предприятиях при использовании CALS технологий?

7. Приведите примеры автоматизированного проектирования элементов приспособлений для последующего прототипирования.

8. Как формируется база данных для последующей интеграции в информационный массив технических средств для реализации технологий быстрого прототипирования сложных изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии подробно рассмотрены вопросы обеспечения ускоренной технической подготовки производства энергетических установок и двигателей, даны определение и исходные понятия аддитивных технологий и производств. Отдельные разделы посвящены рассмотрению: методов и средств реализации подготовки производства с использованием технологий быстрого прототипирования, требований к средствам технологического оснащения заготовительного и механосборочного многономенклатурного производства для перспективных энергетических установок и двигателей. Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлениям 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (направленность «Технология машиностроения»), 15.04.05 Машиностроение (направленность «Современные технологии производства в машиностроении»), дисциплине «Технология машиностроения», по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», дисциплине «Технология производства авиационных и ракетных двигателей».

В пособии сформированы тематические разделы, изучение которых позволяет приобрести знания, необходимые для глубокого понимания теоретических и практических задач технического, экономического и организационного характера, возникающих при создании перспективных энергетических установок и двигателей, их производстве и эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухочев Г.А. Управление качеством изделий, работающих в экстремальных условиях при нестационарных воздействиях / Г.А. Сухочев. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 287 с.

2. Технология машиностроения. Восстановление качества и сборка деталей машин / В.П. Смоленцев, Г.А. Сухочев, А.И. Болдырев, Е.В. Смоленцев, А.В. Бондарь, В.Ю. Склокин. Воронеж: ВГТУ, 2008. 303 с.

3. Сухочев Г.А. Технология машиностроения. Научно-технические технологии для повышения технологичности продукции многономенклатурного производства: учеб. пособие / Г.А. Сухочев, С.Н. Коденцев, Е.Г. Смольяникова. Воронеж: ВГТУ, 2013. 139 с.

4. Сухочев Г.А. Технология машиностроения. Аддитивные технологии в подготовке производства наукоемких изделий: учеб. пособие / Г.А. Сухочев, С.Н. Коденцев, Е.Г. Смольяникова. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. 128 с.

5. Сухочев Г.А. Технология машиностроения. Проблемно ориентированное обеспечение производственной технологичности конструкций и изделий: учеб. пособие / Г.А. Сухочев, С.Н. Коденцев, Е.Г. Смольяникова. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. 168 с.

6. Сухочев Г.А. Технология машиностроения. Автоматизированное управление технологическими процессами и системами: учеб. пособие / Г.А. Сухочев, Е.Г. Смольяникова. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. 132 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Особенности подготовки производства энергетических установок и двигателей	4
1.1. Понятие системы технической подготовки производства.	4
1.2. Основное содержание конструкторской подготовки производства	7
1.3. Задачи технологической подготовки производства	11
1.4. Высокотратные в подготовке производства конструктивные элементы	14
Вопросы для самоконтроля	20
2. Производственная технологичность конструкции	21
2.1. Прогрессивные конструкционные материалы и технологии их получения	21
2.2. Требования к технологичности конструкции в механообрабатывающем производстве	25
2.3. Детали, обрабатываемые электрофизическими и электрохимическими методами	28
2.4. Технологичность конструкции различных видов соединения деталей	44
2.5. Требования к технологичности конструкции при сборке энергетических установок и двигателей	45
Вопросы для самоконтроля	49
3. Организационные методы обеспечения производственной технологичности конструкции	50
3.1. Основные этапы работ по обеспечению технологичности конструкции изделия	50
3.2. Обеспечение технологичности конструкции изделия в системе подготовки производства	55
Вопросы для самоконтроля	61
4. Показатели производственной технологичности конструкции изделия	62
4.1. Основные понятия и положения	62
4.2. Технологическая трудоемкость	63
4.3. Конструктивно-технологическая материалоемкость	68
4.4. Этапы создания изделия и их энергоемкость	73

4.5. Расчет технологической себестоимости изделия	77
Вопросы для самоконтроля	82
5. Технологический контроль при выпуске конструкторской документации	83
5.1. Задачи технологического контроля	83
5.2. Проведение технологического контроля	86
Вопросы для самоконтроля	91
6. Планирование технической подготовки производства	92
6.1. Методы сетевого планирования	92
6.2. Планирование энергоснабжения	98
Вопросы для самоконтроля	104
7. Аддитивные технологии в подготовке производства	105
7.1. Понятие и виды аддитивного производства	105
7.1. Предпосылки использования аддитивных технологий в заготовительном производстве	108
7.2. Аддитивные технологии в литейном производстве	114
7.3. Аддитивные технологии синтезалиейных форм	124
7.4. Аддитивные технологии и порошковая металлургия	126
Вопросы для самоконтроля	135
8. Технология и оборудование для синтеза оснастки	136
8.1. Область использования «металлических» АМ-технологий в изготовлении оснастки	136
8.2. Организация производства оснастки при применении технологии послойного синтеза	139
8.3. Выбор технологии послойного синтеза оснастки	143
8.4. Обработка оснастки после послойного синтеза	147
Вопросы для самоконтроля	157
9. Системы автоматизированного проектирования в технической подготовке производства	158
9.1. Организация САПР станочных приспособлений	158
9.2. Организация интеграции САПР в комплекс программных средств на предприятии	162
9.3. Автоматизированное проектирование приспособлений для последующего прототипирования	165
Вопросы для самоконтроля	173
Заключение	174
Библиографический список	175

Учебное издание

Сухочев Геннадий Алексеевич
Коденцев Сергей Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ.
ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
И ДВИГАТЕЛЕЙ

В авторской редакции

Подписано в печать 10.04.2017.

Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 11,1. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 250 экз.

Зак. № 30.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14