

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Том **2**

Производство
машин

Издательство МГТУ
им. Н.Э. Баумана

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Производство машин

Том 2

Под редакцией канд. техн. наук Г.Н. Мельникова

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлениям
151000 «Технологические машины и оборудование»
и 150700 «Машиностроение», и по специальности 151701
«Проектирование технологических машин и комплексов»,
а также для других технологических специальностей*



Москва 2012

УДК 621 (075.8)

ББК 34.5

Т38

Авторы:

В.М. Бурцев, А.С. Васильев, И.Н. Гемба, О.М. Деев, А.В. Игнатов,
А.И. Кондаков, Б.Д. Максимович, Г.Н. Мельников, Е.Ф. Никадимов,
А.И. Соловьев, В.И. Тавров, В.П. Тихонов, Н.А. Ястребова

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения» Тульского
государственного университета;
д-р техн. наук, проф. *О.С. Степанов*

Технология машиностроения : учеб. для вузов : в 2 т. /
Т38 [В. М. Бурцев и др.] ; под ред. Г. Н. Мельникова. — 3-е изд.,
испр. и перераб. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана,
2012.

ISBN 978-5-7038-3444-2

Т. 2 : Производство машин. — 2012. — 551, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3443-5

Изложены задачи и организация технологической подготовки производства машин. Рассмотрены методика проектирования станочных, сборочных и контрольных приспособлений, вопросы контроля и управления технологическими процессами. Раскрыта специфика реализации технологических процессов изготовления характерных деталей и сборки машин с использованием прогрессивного оборудования в условиях единичного, серийного и массового производства. Дана методика проектирования производственных систем механосборочного производства при освоении новых изделий, техническом перевооружении, реконструкции и создании новых производств.

Для студентов машиностроительных специальностей технических вузов и университетов. Может быть полезен работникам промышленности, исследовательских организаций и аспирантам.

УДК 621 (075.8)

ББК 34.5

ISBN 978-5-7038-3443-5 (Т. 2)
ISBN 978-5-7038-3444-2

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основные научные положения технологии машиностроения и общая методика проектирования технологических процессов (ТП) составили содержание первого тома данного учебника. Однако только при рассмотрении конкретного производственного процесса изготовления детали или сборки изделия можно проиллюстрировать основные научные положения технологии с учетом всех взаимосвязей факторов, влияющих на формирование параметров качества изделия на всех этапах его ТП. Именно этим объясняется, что основным содержанием второго тома учебника «Технология машиностроения» стал комплекс вопросов, связанных с реализацией научных положений основ технологии машиностроения и общей методики проектирования ТП при технологической подготовке производства (ТПП) новых изделий, с рассмотрением и анализом прогрессивных ТП изготовления деталей и сборки машин в производствах различного типа, а также с созданием, реконструкцией и техническим перевооружением производственных систем механической обработки и сборки.

В предлагаемом издании учтены технологические возможности современных станков и систем ЧПУ, изменения стандартов ЕСКД и ЕСТПП; добавлены положения, определяющие состав и содержание проектных материалов по проектированию производств, расширены главы 2 и 5, выполнена редакционная правка.

При написании учебника авторы использовали многолетний опыт научно-методической школы МВТУ—МГТУ, а его содержание отражает материалы ряда общих и профилирующих дисциплин специализаций «Технология и автоматизация механической обработки деталей», «Технология и автоматизация сборки», «Технология прецизионного машиностроения», «Проектирование и эксплуатация интеллектуальных систем технологического назначения».

При изложении вопросов ТПП авторы, учитывая сложность и многогранность этой организационно-технологической задачи,

основное внимание уделили рассмотрению роли технологических служб завода в ее решении. Основной акцент сделан на информационное обеспечение, используемое при отработке изделий на технологичность, при разработке ТП и при выполнении других функций ТПП, а также на проблемы ее автоматизации.

Большое внимание уделено дальнейшему развитию научных положений и совершенствованию методики проектирования приспособлений, в разработке которых ведущая роль принадлежит одному из основоположников кафедры «Технология машиностроения» проф. В.С. Корсакову. Так, гл. 2 дополнена примерами расчетов по проектированию специальных приспособлений.

Исследование проблемы контроля и управления ТП связано с моделированием и анализом хода ТП для выработки управленческих решений. Наряду с этим актуальными являются задачи создания и использования систем автоматического регулирования статической и динамической настройки технологического оборудования, адаптации ТП к изменяющейся производственной ситуации.

При изложении ТП изготовления деталей авторы исходили из того, что в рамках одного издания невозможно охватить процессы изготовления деталей всех классов, а тем более отраслей. Поэтому в учебнике отражены наиболее общие закономерности технологии для основных типов производства на примере изготовления наиболее характерных деталей. Особое внимание уделено особенностям технологии изготовления деталей на станках с ЧПУ последнего поколения, агрегатных станках и автоматических линиях.

Аналогичный подход использован при изложении ТП сборки. Многообразие изделий делает каждый ТП оригинальным. Однако наличие типовых сборочных единиц и соединений позволяет при анализе технологических особенностей их сборки показать общие закономерности осуществления сборки машин, характерные операции и применяемое оборудование.

Комплексность данного учебника подчеркивает включение в его состав раздела по проектированию, реконструкции и техническому перевооружению машиностроительных производств. Условия рыночной экономики с ее жесткой конкуренцией требуют постоянного и всестороннего совершенствования производства, делая более тесными и взаимосвязанными все аспекты технологического проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

Современные условия характеризуются бурным развитием производства и все более широким использованием высокопроизводительных машин во всех промышленных отраслях.

Это определяет приоритетное значение машиностроения, задачей которого является производство машин, облегчающих труд человека и повышающих его производительность. Производство машин является сложным процессом, в развитии которого из исходного сырья и заготовок изготавливают детали и собирают машины. Для обеспечения производства машин необходимо решить комплекс задач, связанных с технологической подготовкой их производства, и реализовать разработанные ТП в действующих производственных системах — заводах, цехах, участках, обеспечивая при этом требуемое качество изделий на всех этапах ТП в течение всего срока выпуска изделий.

В решении этих сложных и разнообразных вопросов основная роль принадлежит технологам-машиностроителям. Технология машиностроения является комплексной инженерной и научной дисциплиной, синтезирующей технические проблемы изготовления машин заданного качества с решением целого ряда организационных и экономических задач, вытекающих из необходимости обеспечить выпуск изделий в определенном производственной программой количестве, в заданные сроки и при наименьшей себестоимости. Так, при освоении нового изделия отработывают конструкцию изделия на технологичность, а затем разрабатывают ТП изготовления деталей и сборки изделия. При этом приходится решать и смежные технологические задачи, связанные с выбором и заказом исходных заготовок, термической обработкой заготовок на разных этапах ТП, нанесением покрытий и др.

Для разработанных ТП в ходе ТПП необходимо спроектировать, изготовить или приобрести предусмотренные ТП станочные, сборочные и контрольные приспособления, вспомога-

ный и режущий инструмент. В современных условиях большое значение имеет обеспечение качества выпускаемых машин. При этом повышение качества машин в значительной мере связано с увеличением точности изготовления деталей и сборки изделий. Поэтому при проектировании ТП, а также при организации производственных участков и линий технологю необходимо решить комплекс вопросов по контролю качества на всех этапах производства машины, рассматривая его как компонент управления ТП. Особое значение управление ТП имеет при использовании высокоавтоматизированного технологического оборудования, станков с ЧПУ, гибких производственных систем, автоматических линий. На этих видах оборудования требуемые параметры качества должны обеспечиваться при минимальном участии оператора.

Реализуются ТП в цехах на производственных участках и линиях. Поэтому важной задачей при освоении новых изделий или при увеличении объемов выпуска существующих изделий является реконструкция, техническое перевооружение или модернизация производства. При решении данной задачи решающая роль принадлежит технологам, осуществляющим технологическое проектирование производственных систем, в ходе которого определяют необходимое количество оборудования и работающих, организационную структуру участков и линий, виды и количество средств межоперационного транспорта и других средств автоматизации и механизации производства.

Одной из основных особенностей технологии машиностроения как учебной дисциплины является ее прикладной характер, что существенно отличает ее от других учебных дисциплин, изучаемых в вузах. Один из основателей технологии машиностроения как науки профессор А.П. Соколовский неоднократно подчеркивал, что учение о технологии родилось в цехе и не должно терять с ним связи. Поэтому данная дисциплина наряду с изложением основных научных положений и закономерностей технологической науки содержит обобщение передового производственного опыта — огромной базы технологических знаний, накопленных заводскими технологами.

1. ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

1.1. ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

На конкретном машиностроительном предприятии ТПП осуществляют в рамках существующей на предприятии системы. Организацию работ по ТПП проводит разработчик изделия совместно с предприятием-изготовителем, привлекая в случае необходимости в установленном порядке головные научно-исследовательские институты и конструкторские бюро по видам изделий, а также технологические научно-исследовательские институты и конструкторские бюро, ответственные за разработку, внедрение и технический уровень ТП и средств технологического оснащения (СТО).

Работы по ТПП на уровне предприятия обычно сосредоточены в отделе главного технолога (ОГТ) и технологических бюро цехов. На заводах с развитыми литейным, кузнечно-прессовым и другими заготовительными цехами технологическую подготовку всех горячих производств ведут в отделе главного металлурга (ОГМет). Оба отдела имеют примерно одинаковую организационную структуру.

Составление технологической документации входит в обязанности специализированных технологических и машинных бюро ОГТ. Планирование технической (конструкторской и технологической) подготовки производства осуществляет специальная группа (бюро), подчиняющаяся непосредственно главному инженеру. Цеховые технологические бюро продолжают работу ОГТ, занимаясь в основном внедрением переданной им технологии в

производство, инструктируя рабочих при ее освоении, помогая им совершенствовать приемы и методы работы, а также выявляя степень экономической целесообразности применяемой оснастки и т. п. Одной из важнейших функций цеховых бюро является контроль соблюдения технологической дисциплины.

Распределение работ по ТПП между ОГТ и цеховым технологическим бюро зависит прежде всего от типа производства.

На заводах единичного и мелкосерийного производства технологическая подготовка ведется децентрализованно. Общее методическое руководство ТПП осуществляет ОГТ или ОГМет. Проведение работ по ТПП полностью возлагается на технологические бюро цехов.

На заводах крупносерийного и массового производства все работы ведут централизованно в ОГТ и ОГМет, а цеховым технологическим бюро поручено внедрение спроектированных процессов, их корректировка, контроль за их ходом и последующая рационализация.

На заводах с серийным выпуском продукции при ее различных объемах встречается смешанная система организации ТПП, при которой для объектов устойчивой номенклатуры ТПП ведут централизованно, а для часто сменяемых изделий — децентрализованно (в цехах). При централизованной организации ТПП службы ОГТ, как правило, специализируются по видам работ: бюро механообработки, бюро покрытий и термообработки и т. п.

При выверке, отладке и внедрении разработанной технологии цеховые технологические бюро работают совместно с ОГТ при методическом руководстве последнего. По наиболее ответственным объектам и машинам массового производства такие работы проводят с привлечением научно-исследовательских институтов, технологических лабораторий и экспериментальных цехов. Во многих случаях работы ведет специальная технологическая группа на заводе (в нее помимо технологов и конструкторов оснастки входят мастера, наладчики и рабочие).

При изготовлении опытного образца и опытной партии машин на заключительном этапе ТПП организуют работы по оценке качества изделий и необходимой корректировке ТП и СТО. При изготовлении опытного образца машины окончательно проверяют технологичность деталей и отдельных сборочных единиц, пригодность и целесообразность оснастки; работы ведут в экс-

периментальном цехе или на специально выделенном участке производственного цеха. При выпуске пробной партии (в нормальных производственных условиях) проводят испытание машины, ее контрольную сборку, разборку и вторичную сборку с обмером деталей и проверкой соответствия их размеров чертежам. При этом вносят соответствующие исправления в документацию, хронометрируют сборочные операции.

В зависимости от типа производства, сложности изготавливаемых изделий, предъявляемых к ним требований ТПП выполняют с различной степенью детализации. В условиях массового и крупносерийного производства, равно как и при изготовлении единичных экземпляров сложных ответственных машин, ТПП необходимо вести особенно тщательно, поскольку от этого в значительной степени зависят экономические показатели предприятия и качество выпускаемых на нем машин. При серийном, мелкосерийном и единичном типах производства простых и недорогих изделий ТПП может быть ограничена предварительной разработкой минимально необходимых технологических и конструкторских документов и данных, при этом их конкретизация и детализация выполняются работниками цеховых технологических служб.

1.2. ФУНКЦИИ, ОРГАНИЗАЦИОННОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

1.2.1. Обеспечение технологичности конструкций изделий

Обеспечение технологичности конструкции изделия — это комплекс взаимосвязанных мероприятий по управлению технологичностью и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, техническом обслуживании и ремонте изделий.

Решаемые при выполнении указанной функции ТПП (рис. 1.1) основные задачи относятся к наиболее трудноформализуемым. Для их решения нет достаточно разработанного математического аппарата, строгих формальных методик, а результат в значительной мере зависит от опыта, знаний и творческой интуиции формирующих его специалистов.

Каждую из указанных на рис. 1.1 задач можно решать для конструкции заготовки, детали, сборочной единицы и изделия в

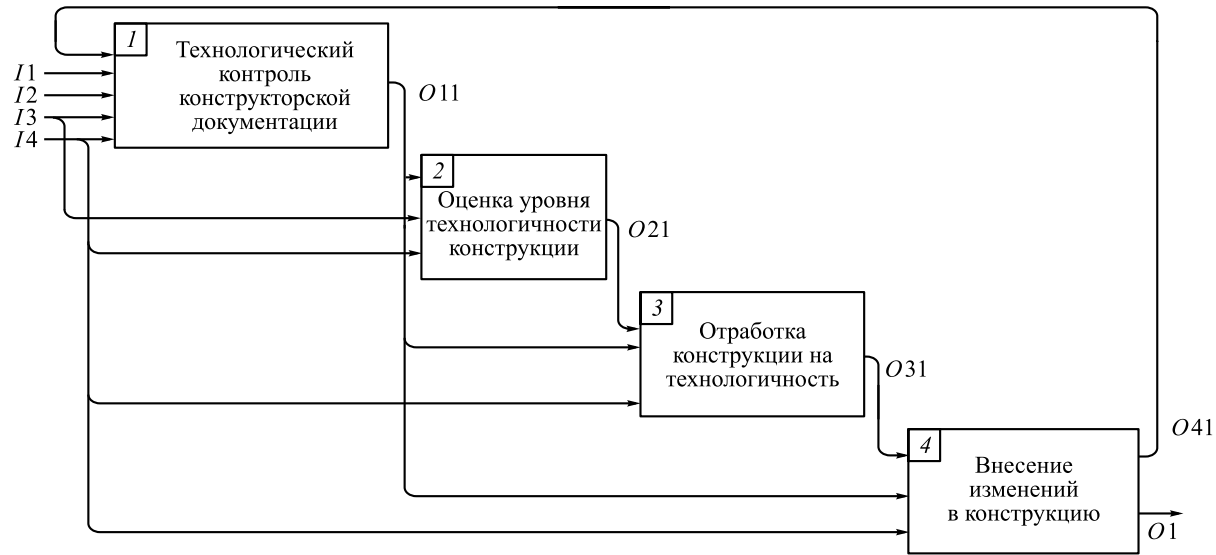


Рис. 1.1. Информационная структура функции ТПП «Обеспечение технологичности конструкции изделия»:

$I1$, $I2$ — конструкторская документация на изделие и директивную заготовку соответственно; $I3$ — программа выпуска изделий; $I4$ — информационное обеспечение; $O11$ — конструкторская документация, прошедшая технологический контроль; $O21$ — результаты оценки уровня технологичности конструкции; $O31$ — предложения об изменении конструкции изделия; $O41$ — чертежи изделия с внесенными изменениями; $O1$ — чертежи изделия, обработанного на технологичность

целом. Технологический контроль конструкторской документации на изделие имеет целью выявление степени ее соответствия реальным производственно-технологическим условиям. Для оценки уровня технологичности конструкции в информационном обеспечении должны быть представлены выбранные показатели технологичности. Формирование их номенклатуры является самостоятельной, сложной и неоднозначно решаемой задачей.

Базовые значения показателей, необходимые для оценки уровня технологичности разрабатываемой конструкции, указывают в техническом задании на разработку изделия, а для отдельных видов изделий, номенклатура которых установлена по отраслям, — в отраслевых стандартах. Существует два способа задания таких показателей. Во-первых, базовые значения могут быть заданы как множество предельных нормативов, обязательных для выполнения в разрабатываемом изделии. Конкретное (базовое) изделие, обладающее набором значений показателей технологичности, при этом не задают. Во-вторых, базовые значения показателей можно взять у аналогичного (базового) изделия, принятого за ближайший прототип разрабатываемого изделия.

Число и состав показателей технологичности конструкции разрабатываемого изделия, используемых для определения уровня технологичности, и состав базовых показателей должны полностью совпадать. Технологичной считается конструкция, значения показателей технологичности которой совпадают со значениями базовых показателей или превосходят их.

Если желательным направлением изменения показателя K_i технологичности является его минимизация, то должно соблюдаться условие

$$K_i^6 \geq K_i^H,$$

если же желательным направлением изменения показателя K_i является его максимизация, то

$$K_i^6 \leq K_i^H,$$

где K_i^6 , K_i^H — соответственно показатели технологичности у базового и нового (разрабатываемого) изделия.

Уровень технологичности K_{yi} разрабатываемого изделия по показателю K_i будет

$$K_{yi} = \frac{K_i^H}{K_i^6}.$$

Значение K_{y_i} при подготовке к обработке конструкции на технологичность в относительных единицах показывает требуемое направление проведения конструкторско-технологических мероприятий.

Базовое изделие, принимаемое за ближайший прототип для сравнения с разрабатываемым, должно отвечать следующим требованиям: быть возможно более близким к разрабатываемому изделию по времени разработки, служебному назначению, основным эксплуатационным показателям, а также отвечать по возможности мировому уровню техники. Например, при отработке на технологичность двигателя грузового автомобиля в качестве базового изделия нельзя выбирать двигатель гусеничного трактора или сравнивать по технологичности вал лебедки и вал ротора турбины.

Иногда после завершения отработки изделия на технологичность требуется дать итоговую оценку уровня технологичности изделия в целом в соответствии с выбранным составом показателей, выразив ее по возможности одним числом. Тем самым возникает необходимость преобразования частных критериев (частных уровней технологичности по конкретным показателям) в единый комплексный критерий. Эту задачу можно решить, используя математический аппарат, изложенный в § 3.5 т. 1 настоящего учебника.

На ранних стадиях разработки конструкторской документации на изделие оценка уровня технологичности крайне необходима, но затруднительна ввиду неполноты имеющейся информации или вообще невозможна, если ее проводить по множеству показателей. В этой связи технологичность конструкции оценивают в два этапа. На первом (предварительном) этапе ее проводят лишь по одному комплексному показателю — материалоемкости или ее удельной величине, на втором (окончательном) — по номенклатуре показателей технологичности конструкции, выбираемых в зависимости от вида изделия, специфики и сложности конструкции, объема выпуска, типа производства, стадии разработки конструкторской документации. Предварительную оценку целесообразно организовать и проводить на стадии эскизного проекта. При этом, если будет установлено, что показатель материалоемкости (удельной материалоемкости) конструкции изделия превышает значение, установленное техническим заданием, то конструкцию необходимо переработать или снять

с разработки. В противном случае приступают к созданию рабочей конструкторской документации.

Показатель материалоемкости, или материалоемкость, изделия — расход материала, необходимого для производства и технической эксплуатации изделия с учетом его конструктивных особенностей — определяют по формуле

$$M = \frac{M_c}{M_{отх} + M_{эк} + M_c},$$

где M_c — масса сухого изделия, т. е. масса изделия как совокупность масс его составных частей без твердых, жидких, газообразных и плазменных наполнителей, расходуемых в процессе эксплуатации; $M_{отх}$ — масса технологических отходов и потерь — количество материала, которое не содержится в изделии, но затрачено на его производство или безвозвратно потеряно в процессе его изготовления; $M_{эк}$ — расход материала на эксплуатацию изделия (на запасные части).

Наиболее технологичным из сравниваемых вариантов конструкции изделия является вариант, для которого значение M ближе к единице.

Показатель удельной материалоемкости, или удельная материалоемкость изделия, характеризует расход материалов, необходимых для получения единицы полезного эффекта от использования изделия по назначению. Полезный эффект может быть выражен характеризующим его основным параметром. Например, для энергетических машин полезный эффект можно определить так:

$$\mathcal{E} = WR,$$

где W — мощность или производительность изделия; R — ресурс работы изделия либо средний ресурс до первого капитального ремонта, либо срок службы. Конструктор вправе самостоятельно задать параметр, характеризующий полезный эффект изделия, исходя из его функционального назначения.

Удельная материалоемкость

$$M_{уд} = M_{изг}/\mathcal{E},$$

где $M_{изг}$ — расход материала на изготовление и эксплуатацию изделия,

$$M_{изг} = M_c + M_{отх} + M_{эк}.$$

Чем ближе к нулю удельная материалоемкость, тем изделие считается более технологичным.

После оценки уровня технологичности становятся достаточно ясны недостатки конструкции, что позволяет наметить основные конструктивно-технологические мероприятия, подробно разрабатываемые на следующей стадии обеспечения технологичности.

Отработку конструкции на технологичность проводят на всех стадиях проектирования изделия (техническое предложение, эскизный и технический проекты, рабочая конструкторская документация), при ТПП и, когда это обосновано, при изготовлении изделия. После подготовки рабочей конструкторской документации эффективность отработки конструкции на технологичность резко падает, так как в этом случае невозможны принципиальные ее изменения (а именно они дают максимальный эффект).

Для обеспечения технических требований при изготовлении конструктивных элементов изделия необходимо принятие соответствующих технических решений (ТР), которые можно рассматривать как фрагменты укрупненного технологического проектирования. На этом этапе отработки конструкции изделия на технологичность намечают основное содержание необходимых технологических переходов, операций, отдельных фрагментов или даже процесса в целом; осуществляют предварительный выбор оборудования, СТО и т. д. При этом следует учитывать реальные технологические возможности предприятия-изготовителя. По сути, необходимо решить, возможно ли изготовление изделия в условиях предприятия-изготовителя и каким образом, с помощью какого технологического оборудования и СТО. Желательно, чтобы принимаемые ТР хотя бы по качественным оценкам приближались к оптимальным для заданных условий.

При совместной оптимизации ТР и конструктивно-технологических параметров элементов изделия принимают окончательные решения о возможных изменениях его конструкции. Оптимизацию можно проводить как на уровне качественных оценок, так и с выполнением необходимых технико-экономических расчетов. Могут быть использованы общие требования к технологичности заготовок, деталей, сборочных единиц в зависимости от предполагаемых методов их изготовления, изложенные в соответствующих главах данного учебника, а также апробирован-

ные рекомендации об эффективных мероприятиях, представленные в специальной литературе.

В результате оптимизации формируют предложения по возможным изменениям конструктивно-технологических параметров изделия, которые рассматривают и представляют не только в отдельности, но и в их совокупности. Предложения передают в службы конструкторской подготовки, и после их рассмотрения и согласования в конструкцию изделия в установленном стандартами порядке вносят изменения. Отработка конструкций на технологичность предъявляет особые требования к выполняющим ее специалистам, которые должны обладать глубокими конструкторскими и технологическими знаниями. Наибольший эффект дает совместная работа конструктора и технолога. Ответственным за обеспечение технологичности изделия является предприятие (организация) — разработчик изделия.

1.2.2. Обеспечение технологического проектирования

Технологическое проектирование объединяет две функции ТПП: разработку ТП и проектирование СТО.

При разработке ТП к наиболее часто решаемым задачам относятся:

проектирование единичных ТП изготовления деталей и их сборки на основе процессов-аналогов;

разработку единичных ТП изготовления деталей и их сборки — индивидуальное проектирование;

создание управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Каждая из указанных задач является самостоятельной, вместе с тем разработку управляющих программ можно рассматривать как этап проектирования операционной технологии.

ТП разрабатывают на основе предварительно составленного межцехового технологического маршрута — расцеховки. Расцеховка определяет поэтапное движение деталей, сборочных единиц и самого изделия в процессе их изготовления.

Процессами-аналогами принято называть типовые и групповые ТП. Единичный ТП можно проектировать на основе процессов-аналогов. В этом случае его структура и содержание технологических операций в значительной мере определяются структурой процесса-аналога.

Разработку единичных ТП изготовления деталей на основе процессов-аналогов выполняют в соответствии со структурной диаграммой, приведенной на рис. 1.2. Важнейшим этапом здесь является выбор процесса-аналога, при котором последовательно решаются две частные задачи: классификация детали и выбор процесса-аналога по ее классификационному коду. При этом информационное обеспечение должно включать развитый конструкторско-технологический классификатор. *Цель классификации* — определение принадлежности детали к некоторой группе (классу) деталей, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков.

В промышленности находит применение технологический классификатор деталей (ТКД) машиностроения и приборостроения, являющийся продолжением и дополнением классификатора единой системы классификации деталей (ЕСКД) (классы 71–76), разработанного в качестве информационной части ГОСТ 2.201–80. Классификатор ЕСКД включает 100 классов. Классы 71–76 охватывают детали всех отраслей промышленности основного и вспомогательного производств:

71 — тела вращения типа колес, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.;

72 — тела вращения с элементами зубчатого зацепления; трубы, шланги, проволочки, разрезные секторы, сегменты, изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические корпусные, опорные и емкостные вкладыши подшипников;

73 — корпусные, опорные, емкостные детали, не являющиеся телами вращения;

74 — плоскостные, рычажные, тяговые, аэрогидродинамические детали; изогнутые из листов, полос и лент профильные детали, не являющиеся телами вращения; трубы;

75 — кулачковые, карданные, с элементами зацепления, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, оптические, крепежные детали; ручки;

76 — детали технологической оснастки, инструмента.

ТКД можно использовать для решения следующих задач:

анализ номенклатуры деталей по их конструктивно-технологическим признакам;

группирование деталей по конструктивно-технологическому подобию для разработки процессов-аналогов;

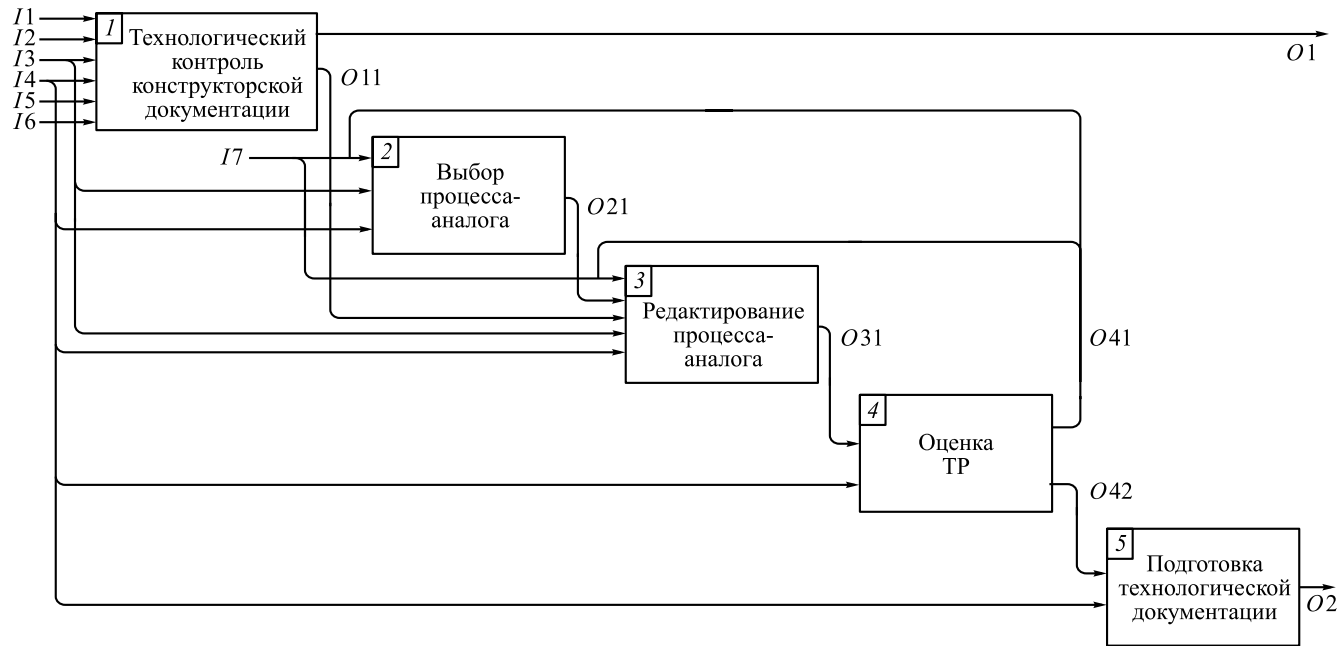


Рис. 1.2. Структурная диаграмма разработки единичного ТП изготовления деталей на основе процесса-аналога: *I1, I2* — конструкторская документация на изделие и директивную заготовку соответственно; *I3* программа выпуска изделия; *I4* — информационное обеспечение; *I5* — чертежи изделий, отработанных на технологичность; *I6* — чертеж заготовки (разработанный); *I7* — изменения ТП изготовления деталей; *O1* — изменения конструкций деталей; *O11* — конструкторская документация, прошедшая технологический контроль; *O21* — параметры процесса-аналога; *O31* — параметры маршрутной и операционной технологий; *O41* — изменения ТП; *O42* — параметры маршрутной и операционной технологий; *O2* — ТП изготовления детали

унификация и стандартизация деталей и ТП их изготовления;

тематический поиск и использование ранее разработанных процессов-аналогов.

ТКД представляет собой систематизированный в виде классификационных таблиц свод наименований общих признаков деталей, составляющих их частных признаков и кодовых обозначений. Структура полного конструкторско-технологического кода детали состоит из обозначения детали по ГОСТ 2.201–80 и технологического кода длиной в четырнадцать знаков. Технологический код состоит из двух частей: постоянной части из шести знаков (рис. 1.3, *а*) и переменной части из восьми знаков (рис. 1.3, *б*).

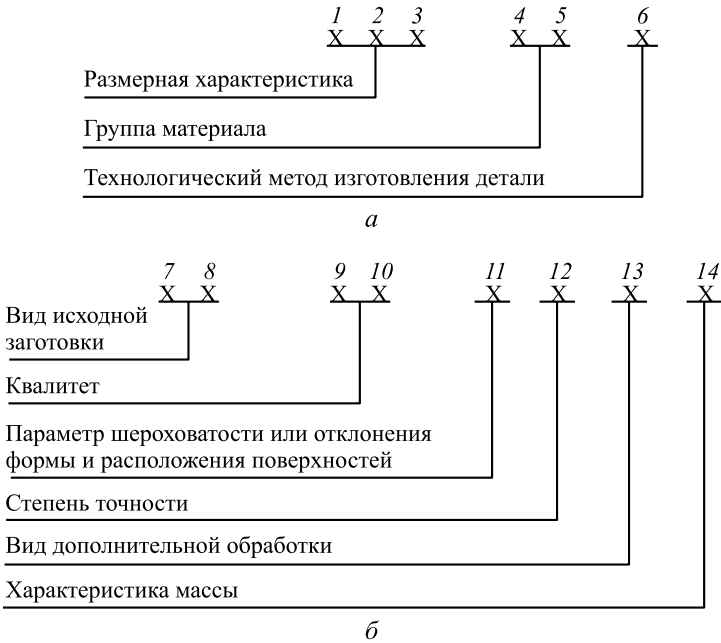


Рис. 1.3. Структуры постоянной (*а*) и переменной (*б*) частей технологического кода деталей, обрабатываемых резанием

Структура переменной части технологического кода зависит от технологического метода изготовления деталей:

1 — литьем;

- 2 — ковкой и объемной штамповкой;
- 3 — штамповкой;
- 4 — резанием;
- 5 — с использованием термической обработки;
- 6 — формообразованием из полимерных материалов и резины;
- 7 — с нанесением покрытия;
- 8 — электрофизическими или электрохимическими методами;
- 9 — методами порошковой металлургии.

Соответственно ТКД содержит 9 разделов. Использование таблиц ТКД позволяет однозначно представить конструкторско-технологические признаки детали в виде кода описанной структуры.

В принципе возможны и иные классификаторы, при построении которых учитывалась бы, например, специфика деталей, изготавливаемых на предприятии. При разработке классификатора следует помнить, что малое число признаков (3—5) делает его слишком грубым и не позволяет с достаточной точностью отнести деталь к той или иной группе (классу), тогда как большое (20 и более) число признаков делает классификатор неудобным в работе, что приводит к возникновению ошибок.

Сформированный код изделия является основой для выбора процесса-аналога. Сведения о процессах-аналогах входят в состав информационного обеспечения. Проводят сравнение кодов изделия, на которое разрабатывают ТП, и изделий-представителей, данные о ТП изготовления которых имеются в информационном обеспечении. В случае нахождения процесса-аналога его параметры (см. рис. 1.2 стрелка *O21*) принимают за основу создаваемого единичного процесса.

Собственно разработка единичного процесса сводится к редактированию процесса-аналога в соответствии с конструктивно-технологическими особенностями детали, для которой этот процесс разрабатывают. При этом может измениться как структура процесса-аналога (вследствие включения в него или, наоборот, удаления некоторых операций), так и содержание самих технологических операций. Возможно проведение необходимых технологических расчетов по определению режимов обработки, нормированию операций и т. д.

Принятые в процессе проектирования и представленные параметрами маршрутной и операционной технологии ТР оценивают. При этом используют различные количественные (технико-экономические) и качественные критерии. Если параметры

спроектированной маршрутной и (или) операционной технологии не отвечают поставленным критериям, принимают решение об изменении ТП. В зависимости от степени несоответствия параметров ТП поставленным критериям необходимые изменения вносят либо на этапе редактирования, либо на этапе выбора процесса-аналога. В последнем случае возможна корректировка конструкторско-технологического кода детали и поиск нового процесса-аналога с выполнением всех последующих этапов разработки.

Параметры разработанного ТП представляют в технологической документации в формах, установленных стандартами ЕСТД (см. § 1.5 т. 1 настоящего учебника).

Единичные ТП изготовления деталей при индивидуальном проектировании разрабатывают в соответствии со структурной диаграммой, показанной на рис. 1.4.

Результаты разработки маршрутной и операционной технологий оценивают. В случае, если их параметры не отвечают поставленным технико-экономическим критериям, принимают решение об изменении ТП. Возможен возврат на этапы разработки операционной и (или) маршрутной технологии с повторением всех последующих действий. Изменения вносят итерационно до тех пор, пока параметры проектируемого ТП не будут удовлетворять поставленным критериям.

Кроме информационного обеспечения, инвариантного функциям ТПП, для разработки единичных ТП изготовления деталей и сборки используют руководящие и справочные материалы. Первые включают данные, изложенные в отраслевых стандартах, устанавливающих требования к ТП и методам управления ими, а также в стандартах на оборудование и оснастку; в документации на действующие единичные, типовые и групповые процессы; в классификаторах технико-экономической информации; в технологических нормативах режимов обработки, припусков, норм расхода материалов и др.; в производственных инструкциях и документации по технике безопасности и промышленной санитарии. Вторые содержат данные, представленные в технологической документации опытного производства; в описаниях прогрессивных методов изготовления и ремонта; в каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок прогрессивных СТО; в схемах планировки производственных участков, а также в методических указаниях по управлению ТП.

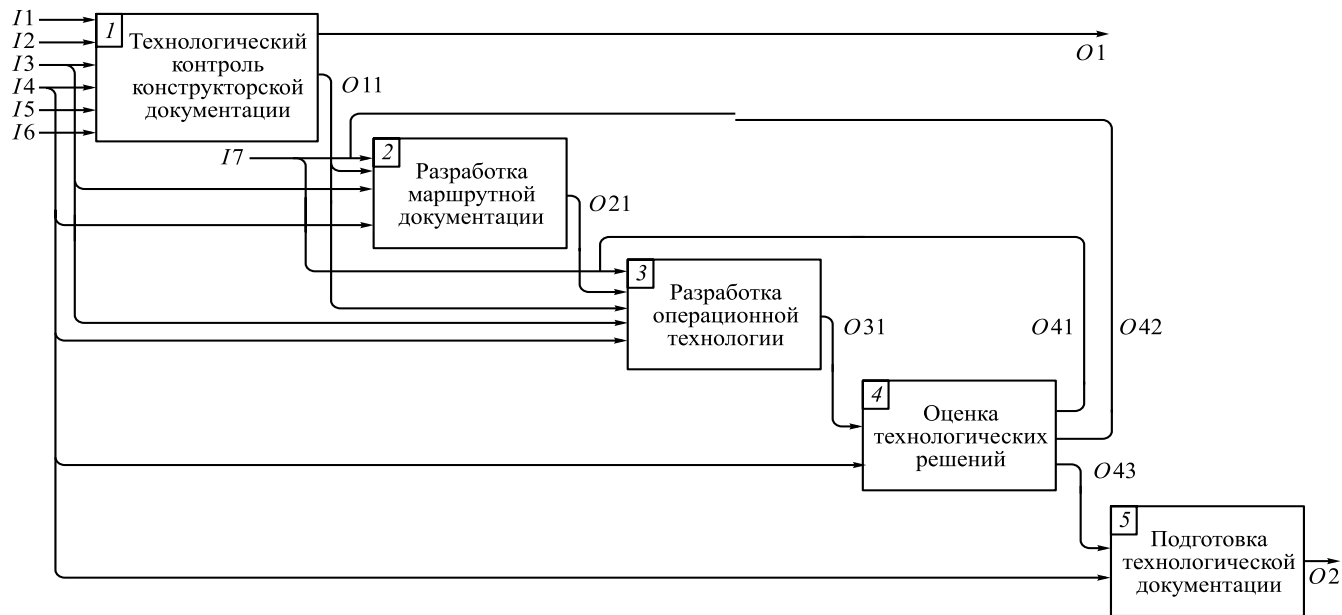


Рис. 1.4. Структурная диаграмма разработки единичного ТП изготовления деталей и сборки при индивидуальном проектировании:

$I1, I2$ — конструкторская документация на изделие и директивную заготовку соответственно; $I3$ — программа выпуска изделий; $I4$ — информационное обеспечение; $I5$ — чертежи изделий, отработанных на технологичность; $I6$ — чертеж заготовки (разработанный); $I7$ — изменения ТП изготовления деталей; $O1$ — изменения конструкций деталей; $O11$ — конструкторская документация, прошедшая технологический контроль; $O21$ — параметры маршрутной технологии; $O31$ — параметры маршрутной и операционной технологий; $O41$ — изменения маршрутного ТП; $O42$ — изменения операционной технологии; $O43$ — параметры маршрутной и операционной технологий; $O2$ — ТП изготовления детали

Основные этапы разработки единичных ТП сборки при индивидуальном проектировании представлены на структурной диаграмме (см. рис. 1.4).

К основным задачам, решаемым при выполнении функции проектирования СТО относят:

- разработку технического задания на проектирование СТО;
- проектирование специальных приспособлений;
- проектирование переналаживаемых приспособлений;
- выбор универсальных СТО;
- проектирование и выбор СТО процессов контроля;
- проектирование и выбор вспомогательной технологической оснастки и инструмента.

При разработке технического задания на проектирование СТО в качестве исходных данных используют конструкторскую и технологическую документацию как вводимую в систему ТПП, так и формируемую в ходе выполнения предшествующих функций ТПП. К СТО относят технологическое оборудование, оснастку, средства механизации и автоматизации производственных процессов. Реализация функции проектирования СТО осуществляется в виде подфункций собственно проектирования и выбора.

При ТПП, как правило, проектируют нестандартную, специальную технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственных процессов. Любое СТО может быть выбрано из одноименного множества. Обычно это касается технологического оборудования, а также технологической оснастки и средств механизации и автоматизации стандартных конструкций.

Выходная документация при проектировании станочного специального приспособления включает в себя конструкторскую документацию на специальное станочное приспособление в соответствии со стандартами ЕСКД (сборочный чертеж, спецификация, чертежи деталей) и заказ на изготовление приспособления, оформленный в соответствии с ЕСТД.

Выбор СТО выполняют в случае, если существует возможность поиска требуемого средства во множестве имеющихся или стандартных средств. Последовательность выбора СТО следующая:

- 1) определяют точное наименование требуемого СТО, например для оборудования — группу и тип;
- 2) формируют основные требования (ключ поиска) к искомому СТО;

3) выполняют поиск в соответствии с основными требованиями (ключом поиска);

4) оформляют заказ на приобретение найденного СТО.

Исходные данные для поиска содержатся в техническом задании на СТО.

Поиск конструкции технологической оснастки осуществляют с учетом стандартных и типовых решений на основе габаритных размеров и вида заготовки, характеристик материала заготовки, точности параметров и конструктивных характеристик поверхностей изделия, схем установки заготовок, характеристик оборудования, объема выпуска (типа производства).

Информационное обеспечение выбора СТО включает нормативно-техническую (стандарты на оснастку, оборудование и т. д.) и техническую документацию (альбомы, каталоги типовых конструкций оснастки и оборудования, инструктивно-методические материалы по проведению выбора СТО). Выбор предшествует проектированию СТО, которое проводят в случае, если он не дал желаемых результатов. Если искомое СТО найдено, то оформляют заказ на его приобретение (покупку или получение со склада).

1.2.3. Обеспечение выбора и подготовки заготовок

Рассматриваемую функцию ТПП выполняют в полном объеме только в случаях, если исходная заготовка не задана директивно, а технологические возможности предприятия допускают выбор вида и метода ее изготовления.

Основные задачи ТПП при выполнении функции выбора и подготовки заготовки следующие:

выбор и оптимизация вида и метода изготовления;

разработка конструкции и оформление чертежа;

выбор ТП изготовления;

оформление заказа на изготовление.

Информационное обеспечение для решения указанных задач должно содержать кроме инвариантной части (данные об имеющемся технологическом оборудовании, использующихся методах и процессах) специализированную часть, а также данные о технологических свойствах материалов (групп материалов); технико-экономические параметры действующего заготовительного производства; технико-экономические характеристики вида и

метода изготовления заготовок (коэффициент использования материала, трудоемкость изготовления детали, удельная себестоимость изготовления единицы массы заготовки или детали для каждого вида и метода изготовления), а также действующие оптовые цены на заготовки и реализуемые отходы, нормативные затраты, приходящиеся на единицу времени работы оборудования, и средние значения штучного времени при выполнении отдельных технологических операций.

Разработка конструкции заготовок не относится к основным задачам технологической подготовки механосборочного производства. Она может быть решена в ходе ТПП механосборочных цехов только для заготовок простых конструкций, изготавливаемых методами, применение которых не требует больших специальных знаний. В полном объеме эту задачу решают при ТПП заготовительных (специализированных) цехов.

При конструировании комбинированной заготовки разрабатывают ее сборочный чертеж (как сварного узла), спецификацию, а также рабочие чертежи составных частей заготовки с соблюдением соответствующих технических требований. Комплектность и формы документации, в которой представляют результаты выбора и разработки ТП, зависят от вида и метода изготовления заготовки и регламентируются соответствующими стандартами ЕСТД.

Заготовка определенного вида должна быть изготовлена выбранным методом в соответствии с предъявляемыми к ней техническими требованиями. Для организации ее непосредственного выпуска составляют карту заказа на изготовление заготовки. Единой формы этой карты стандартами ЕСТД не установлено, однако независимо от формы она должна содержать служебно-учетную информацию; данные о заказчике, проектировщике, изготовителе; вид, метод изготовления заготовки; марку материала, массу заготовки; данные о расходе материала; объем выпуска; сроки и очередность изготовления; трудоемкость изготовления; технические требования. Карту заказа утверждают и подписывают представители заказчика, проектировщика, изготовителя. Кроме того, как правило, составляют еще один документ — «Уведомление об изготовлении заготовки», который содержит информацию о том, что требуемое количество заготовок изготовлено в соответствии с картой заказа.

1.2.4. Организация контроля и управления технологическими процессами

Данная функция ТПП связана с непосредственной производственной реализацией результатов разработок и ТР. В отличие от функций ТПП, выполняемых до начала непосредственного производства изделия, указанная функция реализуется при производстве изделия в реальном масштабе времени. В связи с этим важнейшими элементами информационного обеспечения, используемого для принятия ТР на этом этапе, являются данные о реальных конструктивно-технологических параметрах поступивших заготовок и уже выпущенных изделий, а также оперативная информация о ходе реализованных ТП.

Основные задачи, решаемые при организации контроля и управления ТП, следующие:

- сравнение заданных и фактических значений параметров качества изделий;

- анализ причин отклонений параметров качества изделий;

- принятие ТР о ликвидации отклонений параметров качества изделий;

- разработка и внедрение в производство мероприятий, обеспечивающих стабилизацию параметров качества изделий.

Специфика указанной функции ТПП вводит дополнительный критерий ее выполнения — быстрдействие. ТР, направленное на обеспечение качества продукции в действующем производстве, должно быть не только верным, но также принятым и реализованным в минимальные сроки.

При разработке ТП изготовления изделий для каждой операции определяют входные и выходные параметры качества изделия и их допустимые значения, называемые заданными значениями параметров качества. Фактические значения параметров качества изделия, достигнутые при реализации ТП, могут отклоняться от заданных, причем эти отклонения могут превосходить допустимые.

В ходе ТПП невозможно предусмотреть влияние всех факторов, оказывающих дестабилизирующее действие на ход ТП изготовления изделия. К ним можно отнести, например:

- случайные факторы, действие которых связано с физической природой технологических методов, использующихся для изготовления изделия;

наличие нетехнологичных элементов конструкции изделия, которые не были устранены при обработке конструкции изделия на технологичность;

факторы, связанные с изменяющейся производственной ситуацией, действие которых приводит к необходимости изменения отдельных ТР, заложенных в разработанный ТП (переход на инструменты из других марок инструментальных материалов, замена технологического оборудования на отдельных операциях и т. п.);

необходимость изменения части структуры и параметров ТП, связанная с невозможностью реализации или продолжения разработанного ТП, а также с изменением конструктивно-технологических параметров изделия;

возможные нарушения технологической дисциплины;

ошибочные или нерациональные ТР, принятые при ТПП.

В ходе выполнения функции контроля и управления ТП разрабатывают и внедряют мероприятия, обеспечивающие устранение дестабилизирующего действия отмеченных факторов и приведение к заданным значениям тех параметров качества изделий, отклонения которых превышают допустимые. В некоторых случаях корректируют заданные промежуточные значения параметров качества (например, промежуточные размеры поверхностей деталей и их допуски, шероховатости поверхностей и т. д.) для отдельных этапов ТП.

Как уже отмечалось ранее, рассматриваемая функция ТПП выполняется при изготовлении установочной, контрольной серии изделий, а также в период установившегося производства (последнее относится к серийному и массовому типам).

При изготовлении установочной и контрольной серий изделий разрабатываемые и внедряемые мероприятия направлены на повышение надежности принятых ТР и систем до уровня, обеспечивающего стабильное качество изделий в установившемся производстве. Идет отладка параметров внедряемого ТП; накапливается необходимый статистический материал, который можно использовать при обеспечении заданного качества в период установившегося производства. Проводимые мероприятия по обеспечению качества ориентированы в основном на компенсацию действия случайных факторов физической природы, устранение влияния нетехнологичных элементов конструкций изделия, внесение необходимых изменений в структуру и параметры

ТП, выработку у исполнителей строгих правил технологической дисциплины, а также устранение ошибочных и нерациональных решений, принятых при ТПП.

В период установившегося производства изделий главной целью рассматриваемой функции является стабильное обеспечение заданного качества для всего объема выпускаемой продукции. Для стабилизации качества изделий в условиях установившегося серийного производства можно применять различные устройства, выполняющие функции контроля и управления в автоматическом режиме. Для наладки этих устройств можно использовать статистический материал, полученный при изготовлении установочной и контрольной серий. Основное внимание следует уделять быстрому и эффективному реагированию технологических служб на возникающие изменения штатного хода ТП. Такие изменения могут вызвать факторы изменяющейся производственной ситуации, например поступление заготовок с непредусмотренной разработанным ТП неравномерностью припуска, отсутствие режущего инструмента с расчетной геометрией режущей части и т. д.

Сравнение заданных и фактических параметров качества проводят по завершении определенного этапа ТП или даже отдельной технологической операции. Для метрических параметров качества изделий (значения которых могут быть измерены с помощью штатных СТО и выражены числами) при стабильном обеспечении качества должно соблюдаться условие

$$|P_{\text{зад}} - P_{\text{факт}}| \leq T,$$

где $P_{\text{зад}}$ и $P_{\text{факт}}$ — соответственно заданное и фактическое значения параметра качества изделия; T — допуск на параметр качества.

Если условие не выполнено, то данный параметр заносят в список параметров качества, по которым отмечены отклонения, превышающие допустимые. Одновременно фиксируют и значения выявленных отклонений.

Некоторые параметры качества не могут иметь числового значения, а определяются бинарно: «есть» или «нет», «хорошо» или «плохо». Это, например, наличие покрытия, комплексная оценка его качества и т. д. Сигналом о наличии отклонения здесь является сама бинарная оценка, как правило, негативная.

Анализ причин отклонений качества является важнейшим этапом выполнения рассматриваемой функции ТПП. В ходе анализа необходимо ответить на следующие вопросы.

1. Что явилось причиной отклонения параметра качества от заданного?
2. Почему данная причина вызвала отклонение параметра качества, превышающее допустимое?
3. К каким последствиям может привести дальнейшее действие выявленной причины?
4. Может ли данная причина быть устранена?
5. Можно ли хотя бы приближенно наметить основные мероприятия, позволяющие компенсировать действие выявленной причины?
6. Может ли гарантироваться в дальнейшем невозобновление действия выявленной причины?

Для анализа причин отклонений качества используют аппарат математической статистики, методы регрессионного, дисперсионного, корреляционного анализа и др.

Как правило, хорошие результаты дает численный анализ, однако в ряде случаев его проведение затрудняют невозможность выявления локального множества возможных причин, существование парных взаимовлияний рассматриваемых факторов, существенно-нелинейный характер влияния фактора на качество. Особую сложность представляет установление взаимосвязи между бинарно выражаемым значением параметра качества и метрическим значением действующего возмущающего фактора.

При невозможности количественного (численного) анализа проводят качественный анализ причин отклонений, основывающийся на накопленном технологическом опыте и знаниях. Такой анализ можно выполнять с помощью специализированных автоматизированных систем на базе вычислительной техники.

Принятие ТР связано с углубленным анализом причин отклонения параметров качества. Для каждой отдельно взятой причины предлагают конкретные ТР, направленные на компенсацию или минимизацию возникающих при ее действии отклонений качества. Для некоторых причин возможны альтернативные решения. Число альтернатив может быть значительным. Так, если основной причиной изменения точности диаметрального размера обработанной заготовки при точении является прогрессиру-

ющий размерный износ инструмента, то минимизировать его влияние на качество можно следующим образом:

периодической сменой затупившегося инструмента и заменой его новым, идентичным по своим параметрам;

заменой марки инструментального материала на более стойкую;

изменением геометрических параметров режущей части инструмента;

изменением режима обработки в целях повышения оптимизации стойкости инструмента для конкретных условий обработки;

применением устройства автоматической размерной настройки (автоподналадчиков).

Поиск ТР осуществляют на основе накопленного технологического опыта и знаний. Чем выше ответственность и сложность изделия, больше затраты на техническую подготовку его производства и чем большими сериями его выпускают, тем большее число альтернативных ТР рассматривают.

Разработка и внедрение мероприятий по стабилизации качества изделия базируются на множестве принятых ТР. При этом из каждого множества альтернативных для каждой отдельной причины ТР выбирают одно, по возможности оптимальное; стремятся минимизировать ожидаемые затраты на разработку и внедрение технологических мероприятий, а также общее число последних. Технологическое мероприятие отличает от ТР большая глубина и комплексность проработки; охват не только технологических, но и организационных аспектов производства; предписательный (инструктивный) характер содержания; документальное оформление. Таким образом, разработанное на основе принятых ТР технологическое мероприятие следует рассматривать как документально предписанную совокупность действий, ориентированных на непосредственное внедрение в производство.

Мероприятия могут повторять отдельные этапы или даже целые функции ТПП. Полученные результаты отражаются в изменениях ТП изготовления деталей и сборки, а также в возможных изменениях конструкций деталей и сборочных единиц. В случае принятия эти изменения вносят в технологическую и конструкторскую документацию в порядке, предусмотренном стандартами. Указанная работа выполняется при тесном взаимодей-

ствии цеховых технологических служб, ОГТ, работников ОТК и заводских лабораторий.

1.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКОВ И ЦЕХОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

Жесткая конкуренция на рынке машиностроительной продукции предопределяет постоянное совершенствование и развитие производства. Современное производство необходимо рассматривать как сложную динамическую производственную систему, основой которой являются производственные участки и линии предприятия. Для обеспечения функционирования последних предусматривают следующие системы: транспортно-складские, инструментального обеспечения, технического и ремонтного обслуживания, а также административно-управленческие и технические службы (технологическое и планово-диспетчерское бюро, некоторые другие).

Необходимость гибко реагировать на изменение спроса как по количеству изготавливаемых изделий, так и по их номенклатуре, а также задачи освоения новых конкурентоспособных изделий требуют при постоянном текущем совершенствовании технологии и организации производства проведения на определенных этапах технического перевооружения или реконструкции производства. С этой целью на предприятиях создают отделы, бюро или группы перспективного проектирования, функциями которых являются разработка предложений по внедрению новой техники и технологии, модернизации и автоматизации производства, разработка и обоснование вариантов технического перевооружения или реконструкции участков (цехов) предприятия.

В зависимости от объема и новизны проектных работ к их выполнению привлекают специалистов проектно-технологических институтов и инженеринговых фирм. Для решения задач перспективного проектирования проводят предпроектное обследование действующего производства для оценки его технического уровня по сравнению с лучшими отечественными и зарубежными производствами-аналогами и выявления так называемых «узких мест» и проблемных вопросов развития произ-

водства. На основе анализа результатов предпроектного обследования принимают решения, определяющие основные направления технического перевооружения или реконструкции производства.

Техническое перевооружение предполагает комплекс мероприятий, связанных с внедрением в производство новых ТП, использованием в этой связи на ряде рабочих мест нового оборудования, совершенствованием структуры и организации работы производственных участков, изменением количества оборудования и его расположения, внедрением средств механизации и автоматизации производства на действующих площадях.

Реконструкция производства дополнительно предусматривает расширение действующих цехов путем пристройки дополнительных пролетов к существующим зданиям цехов или создание новых участков и цехов с возведением новых производственных зданий на месте старых или на свободных площадях.

Разработанные решения, определяющие основные направления технического перевооружения и реконструкции производства, утвержденные руководством предприятия и предполагаемыми инвесторами, оформляют в виде задания на проектирование. В ходе разработки проектов технического перевооружения или реконструкции участков, цехов и предприятия в целом решают комплекс взаимосвязанных вопросов технологического, организационного и строительного проектирования.

Стержневой в проекте считают технологическую часть, поскольку ТП являются основой любого производства, представляющего собой их пространственную реализацию. При разработке технологической части определяющими являются разрабатываемые с разной степенью детализации ТП изготовления деталей и сборки изделий. В проектах участков и цехов массового и крупносерийного производства указанные ТП разрабатывают на все детали, сборочные единицы и изделия особенно подробно. Для условий единичного, мелкосерийного и серийного производства, характеризующихся широкой номенклатурой выпускаемых изделий, в проектах часто ограничиваются детальной разработкой ТП только для деталей- и изделий-представителей. Необходимые для проектирования исходные данные о трудоемкости остальных деталей и изделий определяют методом их сравнения по ряду критериев с деталями- и изделиями-представителями.

Полученные данные о трудоемкости далее используют для основных технологических расчетов и обоснования проектных решений по количеству оборудования и числу рабочих мест, составу и структуре оборудования производственных участков и линий. Очень важным вопросом в технологической подготовке технического перевооружения и реконструкции производства является выбор вариантов и разработка детальных планов расположения оборудования и рабочих мест, а также определение численности работающих.

Принимаемые проектные решения в значительной степени связаны с выбором прогрессивных видов межоперационного и межцехового транспорта, а также с применяемыми способами хранения заготовок, полуфабрикатов, деталей и изделий на всех стадиях производственного процесса. Технические средства для транспортирования и хранения объектов в процессе их производства вместе с соответствующими системами управления и обслуживающим персоналом рассматривают обычно как единую транспортно-складскую систему, обеспечивающую функционирование производственных участков и линий.

Кроме того, функционирование производства определяет еще ряд систем: инструментального обеспечения, решающая задачу снабжения рабочих мест всеми видами инструментов и приспособлений; контроля качества изделий и управления ходом ТП; ремонтного и технического обслуживания, отвечающая кроме ремонта за снабжение рабочих мест электроэнергией, сжатым воздухом и охлаждающими жидкостями, а также удаление стружки от станков и некоторые другие.

Структура системы обеспечения функционирования, уровень автоматизации технических средств и систем управления, степень их интеграции в единую производственную систему на базе современной вычислительной техники являются в современных условиях важными аспектами при разработке проектов технического перевооружения и реконструкции производства. Создание гибкого автоматизированного производства предполагает поэтапное решение этих проблем.

Проектирование производственных систем ведут последовательно-параллельно, начиная с технологических расчетов по определению трудоемкости разрабатываемых ТП и расчета числа станков и рабочих мест сборки для выпуска изделий, составляющих годовую программу. Далее по мере определения пара-

метров основных производственных процессов фронт проектных работ расширяется, так как становится возможным вести проектирование систем обеспечения функционирования производства.

Процесс проектирования производственных систем на ряде его стадий является итерационным. При проектировании, особенно на начальных этапах, в условиях дефицита исходной информации и естественного отсутствия проектных решений по системам обеспечения функционирования приходится принимать приближенные решения, которые уточняют на последующих этапах проектирования. Например, принимаемые на первых этапах проектирования предварительные проектные решения по расположению оборудования уточняют и конкретизируют по мере определения параметров транспортно-складской системы, инструментального обеспечения, решения вопросов многостаночного обслуживания, удаления стружки и других факторов.

При разработке проектов реконструкции производства возникает необходимость строительного проектирования, а также более углубленной проработки энергетической и санитарно-технической части проекта. К выполнению этих работ обычно привлекают специализированные проектные организации. Задачей на их разработку являются объемно-планировочные решения и необходимые расчетные данные, выполненные в технологической части проекта.

Учитывая высокую стоимость капитальных затрат на техническое перевооружение и реконструкцию производства, проектные разработки требуют тщательного технико-экономического обоснования в бизнес-плане.

1.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

1.4.1. Концептуальные модели автоматизированных систем технологической подготовки производства

Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) — это система ТПП, основу организации которой составляет системное применение средств автоматизации инженерно-технических работ, обеспечивающее оптималь-

ное взаимодействие людей, машинных программ и технических средств автоматизации при выполнении функций ТПП. Целью создания АСТПП является совершенствование ТПП на базе математических методов, оптимизации процессов проектирования и управления с применением современных средств вычислительной и организационной техники. Современную АСТПП можно рассматривать как единый программно-аппаратный комплекс на базе вычислительной техники, предназначенный для выполнения функций ТПП. Разработку АСТПП осуществляют на уровне предприятия. Решение об использовании на конкретном предприятии автоматизированной или неавтоматизированной форм выполнения ТПП, а также о степени автоматизации ТПП принимают на основе технико-экономических расчетов.

К АСТПП предъявляют ряд общих требований:

1) обеспечивать выполнение основных функций ТПП, предусмотренных стандартами в составе и объеме, необходимом и достаточном для проведения ТПП предприятия;

2) функционировать в режиме, обеспечивающем анализ промежуточных решений и подготовку на его основе исходных данных для выполнения последующих функций или дальнейшего решения задачи;

3) состоять из подсистем, которые при необходимости можно объединять в различных вариантах или автономно использовать;

4) предусматривать поэтапный ввод подсистем в эксплуатацию присоединением новых по мере их готовности или необходимости;

5) независимо от числа функций, реализуемых в системе, исходные данные должны быть изложены на едином входном языке.

В структуре АСТПП по функциональному назначению выделяют два типа подсистем: *общего* и *специального назначения*.

В основной состав подсистем общего назначения входят подсистемы информационного поиска, кодирования, контроля и преобразования информации, формирования исходных данных для автоматизированных систем управления различных уровней, оформления технической документации.

Подсистемы специального назначения применяют при реализации конкретных функций и решений частных задач ТПП, состав которых описан в § 1.2. Состав подсистем специального назначения устанавливают конкретно для каждого предприятия в зависимости от специфики ТПП и экономической целесообразности.

ности. Независимо от состава подсистем специального назначения их совместное функционирование обеспечивается едиными подсистемами общего назначения. Обмен информацией между подсистемами осуществляет единая информационная система. Информационную совместимость подсистем гарантирует единая система ввода, вывода, контроля и преобразования информации.

При разработке АСТПП формируется единое для всех подсистем информационное, математическое, методическое, организационное, техническое, лингвистическое и программное обеспечение системы.

Разработку АСТПП как большой технической системы начинают с ее моделирования, выполняемого в три этапа:

- 1) построение концептуальной модели и ее формализация;
- 2) разработка машинной модели;
- 3) получение действующей рабочей модели.

Концептуальная модель АСТПП обеспечивает переход от ее содержательного описания к формальному, т. е. определяют модель системы и строят ее формальную (структурную) схему. Традиционный подход к созданию концептуальных моделей основывается на сохранении в последних всех основных функций и функциональных связей, присущих неавтоматизированному проведению ТПП. Функциональная структура АСТПП соответствует общей структуре системы ТПП, представленной на рис. 1.7 т. 1 настоящего учебника. Каждую функцию можно рассматривать как отдельную подсистему АСТПП. В свою очередь каждую выделенную подсистему можно представлять как систему и для нее таким же образом определять подсистемы, отвечающие задачам ТПП. Такое иерархическое (ступенчатое) деление АСТПП и ее подсистем на составные части можно проводить до любого уровня (обычно до 4-го или 5-го).

Для разработки концептуальных моделей АСТПП используют метод структурного анализа, предполагающий последовательную детализацию изучаемой или проектируемой системы сверху вниз. В отличие от других методов, использующих тот же принцип, предполагается, что на каждом уровне представлено разложение анализируемого объекта, более детализированное, но полностью эквивалентное предшествующему уровню. Описание структурированной таким образом системы представляется в виде набора схем и пояснений к ним, называемого *моделью системы*. Обычно он отражает систему только с одной

какой-либо точки зрения. Для полного описания системы составляют несколько моделей, между которыми устанавливают взаимные связи.

Объектом анализа может быть либо АСТПП полностью (на верхнем уровне), либо любая ее часть (на более низких уровнях). Объект анализа на схеме представляют в виде прямоугольника и рассматривают не изолированно, а в связи с внешней средой (рис. 1.5). Среду изображают стрелками, направленными либо к прямоугольнику, либо от него, и указывают четыре ее составляющие: вход, выход, управление и механизм.

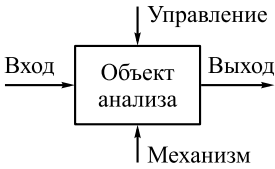


Рис. 1.5. Изображение объекта анализа и его среды

Различают два типа объектов анализа — *предмет* и *операция*. Если объект анализа — предмет, то операции образуют его внешнюю среду, и наоборот. Так, при рассмотрении АСТПП как комплекса программных средств в качестве предметов рассматривают данные, а в качестве операций — преобразования над ними. При этом объектом анализа могут быть данные в среде преобразований или преобразования в среде данных.

Если объект анализа — операция, то стрелка входа изображает предметы, «перерабатываемые» операцией, стрелка выхода — предметы, получаемые в результате операции, стрелка управления — условия, при которых выполняется операция, а механизм — средства реализации анализируемой операции. Если под операцией понимать разрабатываемое программное средство, то входом будут перерабатываемые им данные, выходом — данные, получаемые в результате выполнения программы, управлением — управляющие данные, а механизмом — средства реализации программы.

Если объект анализа — предмет, то стрелка входа изображает операцию, создающую этот предмет, стрелка выхода — операцию, использующую данный предмет, стрелка управления — условие существования предмета (может отсутствовать), стрелка механизма — средства воплощения. Так, для данных входом является создавшая их программа, выходом — использующая (перерабатывающая) их программа, управлением — условия существования данных (например, время хранения), а механизмом — устройства запоминания.

Принцип построения структуры концептуальной модели АСТПП показан на рис. 1.6. На верхнем уровне изображена схема, отражающая всю анализируемую систему. Модель представляет собой иерархический набор структурных схем, каждая из которых является детализацией какого-либо объекта (предмета или операции) и окружающей среды из схемы предыдущего (более высокого) уровня. При этом анализируемый объект представлен на схеме в виде набора объектов (обычно не более шести), изображенных в виде прямоугольников, и связей между ними, показанных стрелками входа, выхода, управления и механизма. Части, на которые разложен анализируемый объект, должны в совокупности точно представлять его и, кроме того, не пересекаться. Совокупность стрелок, входящих в схему и выходящих из нее, должна точно совпадать со средой анализируемого объекта, изображенного в виде прямоугольника на схеме предыдущего уровня. К этой среде ничего не должно быть добавлено, но ничего из нее и не должно быть потеряно. В пределах схемы среда может быть представлена более дифференцированно (более подробно).

При формировании концептуальной модели АСТПП могут быть выделены уровни системы, функций и задач.

На уровне *системы* отражают только наиболее общие сведения о среде — входы, выходы, управление. Уровень *функций* иллюстрирует состав и взаимосвязь последних, ему соответствует

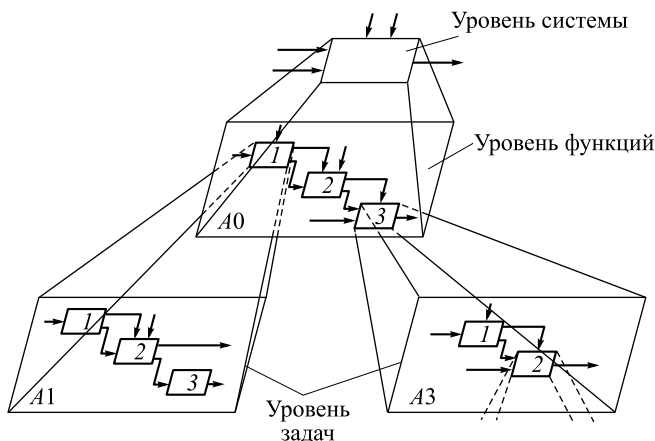


Рис. 1.6. Иллюстрация принципа построения структуры концептуальной модели АСТПП

общая структура системы ТПП (см. рис. 1.7 т. 1 настоящего учебника). Уровень задач раскрывается через состав и взаимосвязь задач, решаемых при выполнении каждой отдельно взятой функции ТПП. Представлению уровня задач соответствует структурная диаграмма, изображенная на рис. 1.1. Возможна дальнейшая декомпозиция уровня задач. Например, для функции «Разработка технологических процессов» можно выделить следующие уровни частных задач: разработка единичных ТП изготовления деталей на основе процессов-аналогов (см. рис. 1.2), разработка единичных ТП изготовления деталей и сборки при индивидуальном проектировании (см. рис. 1.5), разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ и др. Необходимость дальнейшей декомпозиции и ее завершение определяют разработчики АСТПП.

Идеальной декомпозицией системы следует считать такой уровень ее разложения, который соответствует алгоритмически выполняемой процедуре или, при ее невозможности, процедуре, осуществляемой в интерактивном режиме. Недостатком метода структурного анализа, накладывающим существенные ограничения на число уровней декомпозиции, является резкое возрастание объема работ при переходе с одного уровня на другой, что характерно для всех иерархически построенных структур.

АСТПП можно рассматривать с функциональной, организационной и информационной сторон, каждой из которых соответствуют свои модели.

Функциональная модель отражает связи между отдельными структурными единицами системы и показывает взаимодействие между ними в процессе выполнения основных функций АСТПП, *организационная* — может быть представлена в виде схемы, в которой указаны производственные подразделения АСТПП и связи между ними, а *информационная* — отражает информационные взаимосвязи элементов АСТПП, возникающие в процессе выполнения ее функций. Информационные модели представляют с помощью языков спецификаций. Наиболее часто используют универсальный высокоуровневый язык моделей данных «сущность — связь». Практические аспекты создания информационных моделей подробно изложены в специальной литературе, посвященной разработке банков и баз данных.

На основании информационных моделей определяют требования к информационной базе АСТПП (по объему хранимой информации, форме ее ввода и вывода) и способам ее обработки.

Существуют два подхода к проектированию АСТПП:

1) определение перечня задач, решение которых автоматизируется. В дальнейшем такой перечень не пополняется, не предполагается его информационная и управляющая стыковки с системами, автоматизирующими решения других задач ТПП. Тем самым создаются локальные системы для решения постоянного круга задач;

2) расширение перечня решаемых задач в локальной системе и стыковка отдельных локальных систем в единую комплексную, а в дальнейшем и в интегрированную систему. В этом случае все локальные системы следует строить на единой методологической основе, что предполагает единство информационного обеспечения и внешнего представления данных, а также единство математического обеспечения и подхода к выбору технических средств.

Выбор подхода непосредственно связан с объектом автоматизации в области ТПП, которым может быть система ТПП в целом (АСТПП) как совокупность взаимодействующих функциональных подсистем; функциональная подсистема как совокупность задач ТПП, относящихся к рассматриваемой подсистеме или совокупность задач ТПП, решение которых необходимо для обеспечения функционирования системы ТПП. При выборе объекта автоматизации учитывают снижение трудоемкости работ и сокращение сроков ТПП, повышение уровня организации и улучшение качества ТПП, создание предпосылок рациональной организации основного производства, возможность снижения или полной ликвидации непроизводительных расходов.

Технические средства, с помощью которых реализуются АСТПП, объединяют в комплексы. Различают местные, централизованные и интегрированные комплексы.

Местные комплексы позволяют решать в основном простые локальные задачи, возникающие, например, при проектировании СТО (штампов, прессформ и т. п.), расчете режимов резания, нормировании операций и т. д. Пользователем такой системы является один человек: технические средства системы — персональный компьютер, установленный на рабочем месте технолога, или специализированный аппаратный комплекс — автоматизированное рабочее место технолога.

Централизованные комплексы обслуживают отдельные производственные подразделения, т. е. несколько пользователей, и дают возможность решать одну или несколько задач ТПП, например