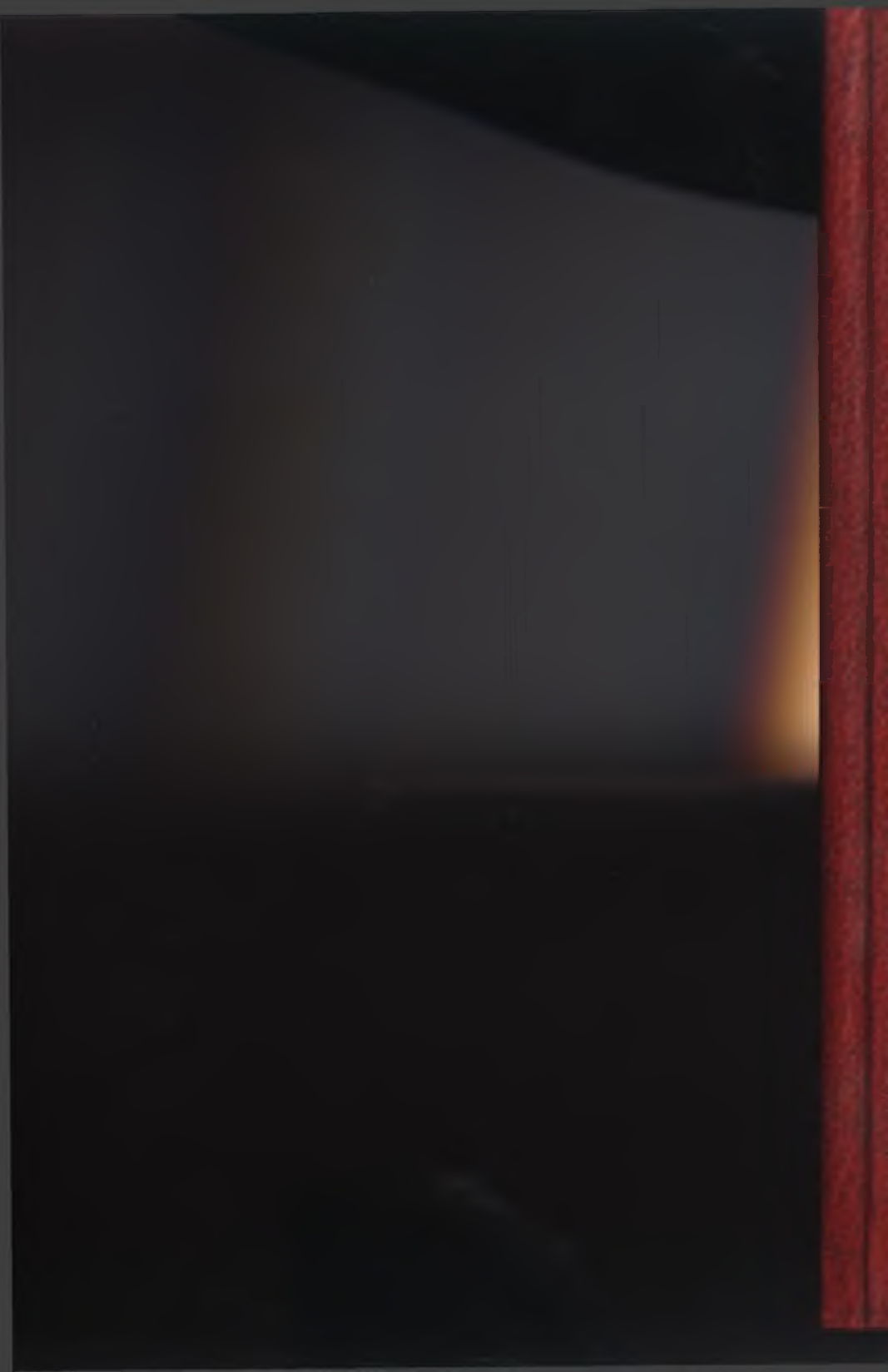


ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Том 2



Издательство МГТУ имени Н.Э.Баумана

621.7
Т-38

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В двух томах

ТОМ II

ПРОИЗВОДСТВО МАШИН

Под общей редакцией
канд. техн. наук, доцента Г.Н. Мельникова

Рекомендовано Министерством общего и профессионального образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Технология машиностроения"

БИБЛИОТЕКА
тип и ЛП
№ У 2257

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
1998

6485

УДК 621
ББК 34.5
Т38

Авторы: В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев, 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: Н.М. Капустин, А.Г. Суслов

Т38 Технология машиностроения: В 2 т. Т. 2. Производство машин: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; Под ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 640 с., ил.

ISBN 5-7038-1285-2 (Т.2)

ISBN 5-7038-1283-6

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 типов производства. Дана методика проектирования производственных систем механосборочного производства при освоении новых изделий, техническом перевооружении, реконструкции и создании новых производств.

Для студентов технологических и конструкторских специальностей машиностроительных вузов и технических университетов. Может быть полезен технологам и конструкторам машиностроительных предприятий.

Редакционный совет:
А.М. Дальский, Г.Н. Мельников, А.В. Мухин

Печатается по решению Ученого совета Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

УДК 621
ББК 34.5

© В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др., 1998
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998
© Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998

ISBN 5-7038-1285-2 (Т.2)
ISBN 5-7038-1283-6

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 реально 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.

При написании данного учебника использован многолетний опыт научно-методической школы МВТУ - МГТУ, и 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 обеспечении. Основной акцент сделан при этом 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 положении и совершенствованию методики проектирования приспособлений, в разработке которых большая роль принадлежит одному из основоположников кафедры технологии машиностроения МВТУ им. Н.Э. Баумана профессору В.С. Корсакову.

Решение проблемы контроля и управления ТП связано с моделированием и анализом хода ТП для выработки управленческих решений. Наряду с этим актуальной задачей является создание и использование систем автоматического регулирования статической и динамической настройки технологического оборудования. Перспективным является решение проблемы адаптации ТП к изменяющейся производственной ситуации.

При рассмотрении ТП изготовления деталей авторы исходили из того, что в рамках одного, даже большого учебника невозможно охватить процессы изготовления деталей всех классов, а тем более отраслей. Поэтому основное внимание было уделено отражению наиболее общих закономерностей технологии для основных типов производства и иллюстрации этих закономерностей при изготовлении наиболее характерных деталей. Особое внимание уделено особенностям технологии изготовления деталей на станках с ЧПУ, 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, рассматривая технологические особенности 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 производственных систем. Условия рыночной экономики с ее жесткой конкуренцией требуют постоянного и всестороннего совершенствования производства, делая более тесными и взаимосвязанными все аспекты технологического проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

Благосостояние общества и его положение в мировом сообществе в значительной мере определяются достигнутым уровнем производительности общественного труда. Современные условия характеризуются бурным развитием производства и все более широким использованием высокопроизводительных машин во всех отраслях народного хозяйства.

Это определяет приоритетное значение машиностроения, задачей которого является производство машин, облегчающих труд человека и повышающих его производительность. Производство машин является сложным процессом, в ходе 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 отрабатывают 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, вспомогательный и режущий инструмент. В современных условиях большое значение имеет обеспечение качества выпускаемых машин. При этом повышение качества машин в значитель-

ной мере связано с повышением точности изготовления деталей и сборки изделий. Поэтому при проектировании ТП, а также при организации производственных участков и линий технологу 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.

ТП реализуются 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 также 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 порывать 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.

Глава 1

ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

1.1. ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

На конкретном машиностроительном предприятии ТПП осуществляется в рамках существующей на предприятии системы ТПП.

Организация выполнения работ по ТПП проводится разработчиком изделия совместно с предприятием-изготовителем с привлечением в случае необходимости в установленном порядке головных научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро по видам изделий, а также технологических научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро, ответственных 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, 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 серийными 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 такие 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 экспериментальном 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 изготовляемых изделий, предъявляемых к ним требований ТПП проводят 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 с тем, чтобы их

конкретизация и детализация были поручены работникам цеховых технологических служб.

1.2. ФУНКЦИИ, ОРГАНИЗАЦИОННОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

1.2.1. Обеспечение технологичности конструкций изделий

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

Основные задачи, решаемые при выполнении указанной функции ТПП (рис. 1.1), относятся к наиболее трудноформализуемым задачам ТПП. Для их решения нет достаточно разработанного математического аппарата, строгих формальных методик. Результат решения 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 целом.

Технологический контроль конструкторской документации на изделие имеет целью выявление степени ее соответствия реальным производственно-технологическим условиям изготовления изделия.

Для оценки уровня технологичности конструкции в информационном обеспечении должны быть представлены выбранные показатели технологичности. Формирование их номенклатуры является самостоятельной, сложной и неоднозначно решаемой задачей.

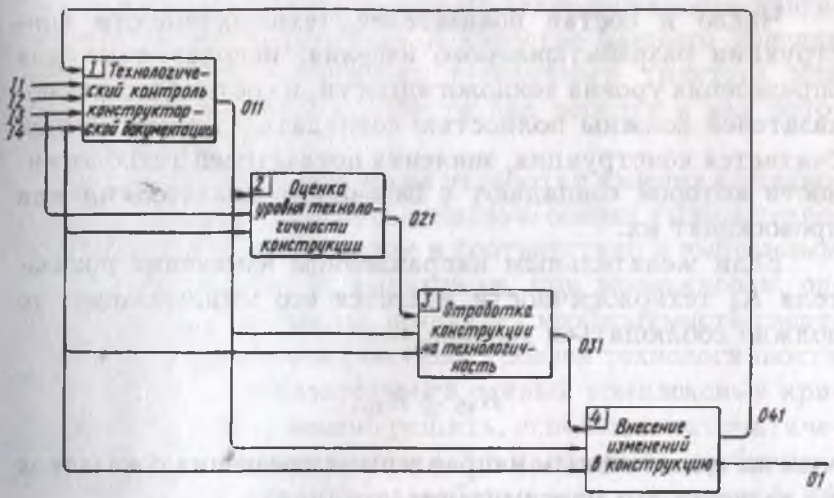


Рис. 1.1. Информационная структура функции ТПП "Обеспечение технологичности конструкции изделия":
*I*1, *I*2 – конструкторская документация на изделие и директивную заготовку соответственно; *I*3 – программа выпуска изделий; *I*4 – информационное обеспечение; *O*11 – конструкторская документация, прошедшая технологический контроль; *O*21 – результаты оценки уровня технологичности конструкции; *O*31 – предложения об изменении конструкции изделия; *O*41 – чертежи изделия с внесенными изменениями; *O*1 – чертежи изделия, отработанного на технологичность

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. Конкретного (базового) изделия, обладающего набором значений показателей технологичности, при этом не задают. Во-вторых, базовые значения показателей можно взять с конкретного (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 с базовыми показателями или превосходят их.

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

$$K_{i\text{б}} \geq K_{i\text{р}},$$

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

$$K_{i\text{б}} \leq K_{i\text{р}},$$

где $K_{i\text{б,р}}$ – значения показателя K_i у базового и разрабатываемого изделия.

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

$$K_{yi} = \frac{K_{i\text{р}}}{K_{i\text{б}}}.$$

Значение K_{yi} при подготовке к отработке 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:

а) быть возможно более близким к разрабатываемому изделию по времени разработки, служебному назначению, основным эксплуатационным показателям;

б) по возможности отвечать последним достижениям (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, при возможности, одним числом. Тем самым, возникает необходимость свертки частных критериев (частных уровней технологичности по конкретным показателям) в единый комплексный критерий. Эту задачу можно решить, используя математический аппарат, изложенный в § 3.5 настоящего учебника.

На ранних стадиях разработки конструкторской документации на изделие оценка уровня технологичности крайне необходима, но затруднительна ввиду неполноты имеющейся информации и вообще невозможна, если ее проводить по множеству показателей. В этой связи оценку технологичности конструкции выполняют в два этапа. На первом (предварительном) ее проводят лишь по одному комплексному показателю – материалоемкости или удельной материалоемкости, 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 показатели материалоемкости (удельной материалоемкости) конструкции изделия превышают установленные техническим заданием, то конструкцию необходимо переработать или снять с разработки. В противном случае приступают к созданию рабочей конструкторской документации.

Показатель материалоемкости (*материалоемкость*) изделия – расход материала, необходимого для производ-

ства и технической эксплуатации изделия с учетом его конструктивных особенностей – определяют по формуле

$$M = \frac{M_c}{M_{оп} + M_э + M_c},$$

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; $M_{оп}$ – масса технологических отходов и потерь – количество материала, которое не осуществлено в изделии, но затрачено на его производство или безвозвратно потеряно в процессе его изготовления; $M_э$ – 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 (*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 $Э$ изделия можно определить так:

$$Э = WR,$$

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

$$M_у = M_и/Э,$$

где $M_и$ – расход материала на изготовление и эксплуатацию изделия,

$$M_и = M_с + M_{оп} + M_э.$$

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

После оценки уровня технологичности становятся достаточно ясными 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 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 изделий принимают окончательные решения о возможных изменениях конструкции изделия. 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 апробированные 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 относят:

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

2) разработку единичных ТП изготовления деталей и их сборки – индивидуальное проектирование;

3) 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 решения является выбор процесса-аналога, при котором последовательно решаются две частные задачи: классификация детали и выбор процесса-аналога по ее классификационному коду. Для решения первой задачи 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 ЕСКД (классы 71 – 76), разработанного в качестве информационной части ГОСТ 2.201 – 80.

БИБЛИОТЕКА
... ТИП и ЛП
У 2257

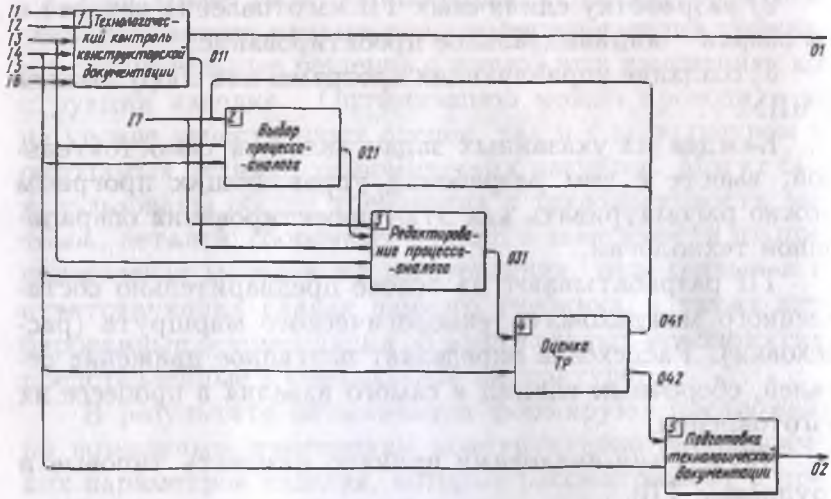


Рис. 1.2. Структурная диаграмма разработки единичного ТП изготовления деталей на основе процесса-аналога:
*I*1, *I*2 – конструкторская документация на изделие и директивную заготовку соответственно; *I*3 – программа выпуска изделия; *I*4 – информационное обеспечение; *I*5 – чертежи изделий, отработанных на технологичность; *I*6 – чертеж заготовки (разработанный); *I*7 – изменения ТП изготовления деталей; *O*1 – изменения конструкций деталей; *O*11 – конструкторская документация, прошедшая технологический контроль; *O*21 – параметры процесса-аналога; *O*31 – параметры маршрутной и операционной технологий; *O*41 – изменения ТП; *O*42 – параметры маршрутной и операционной технологий; *O*2 – ТП изготовления детали

Классификатор ЕСКД включает 100 классов, из которых 51 составляют пока резерв для размещения новых видов изделий. Классы 71 – 76 охватывают детали всех отраслей промышленности основного и вспомогательного производств:

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

класс 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;

класс 73 – корпусные, опорные, емкостные детали, не являющиеся телами вращения;

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

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

класс 76 – детали технологической оснастки, инструмента.

ТКД можно использовать для решения следующих задач:

а) анализа номенклатуры деталей по их конструктивно-технологическим признакам;

б) группирования деталей по конструктивно-технологическому подобию для разработки процессов-аналогов;

в) унификации и стандартизации деталей и ТП их изготовления;

г) тематического поиска и использования 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*).

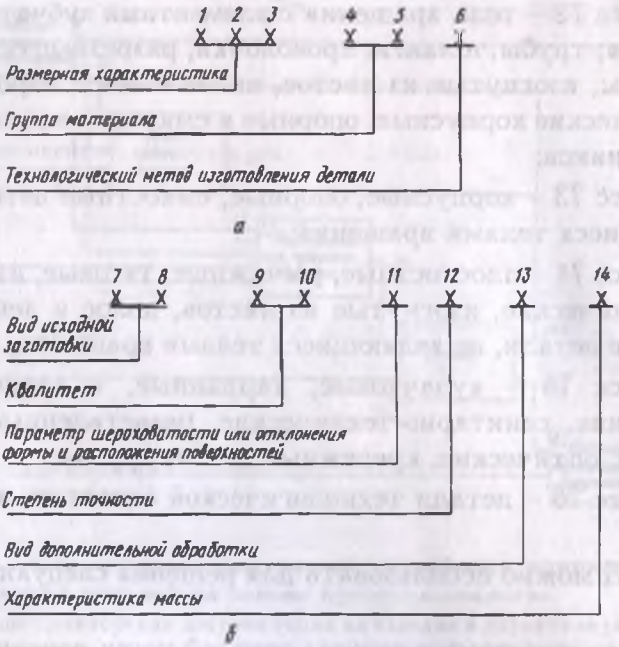


Рис. 1.3. Структура постоянной (*а*) и переменной (*б*) части технологического кода деталей, обрабатываемых резанием

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

1 – детали, изготовляемые литьем;

2 – детали, изготовляемые ковкой и объемной штамповкой;

3 – детали, изготовляемые листовой штамповкой;

4 – детали, обрабатываемые резанием;

5 – детали, термически обрабатываемые;

6 – детали, изготовляемые формообразованием из полимерных материалов и резины;

7 – детали с покрытием;

8 – детали, обрабатываемые электро-физико-химически;

9 – детали, изготовляемые 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, возможно использование и иных классификаторов, при построении которых учитывается, например, специфика деталей, изготавливаемых на предприятии. При разработке классификаторов следует помнить, что малое число признаков (3 – 5) делает классификационную систему слишком грубой и не позволяет с достаточной точностью отнести деталь к той или иной группе (классу). 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 и разрабатывают. При этом может измениться как структура процесса-аналога (вследствии 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.

ТР, принятые в процессе проектирования и представленные параметрами машрутной и операционной технологии, оценивают. При оценке используют различные количественные (технико-экономические) и качественные

критерии. Если параметры спроектированной маршрутной и (или) операционной технологии не отвечают поставленным критериям, то 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 параметры спроектированной маршрутной и (или) операционной технологии 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 процесса не будут удовлетворять поставленным критериям.

Кроме инвариантного функциям ТПП информационного обеспечения для разработки единичных ТП изготовления деталей и сборки используют руководящую и справочную информацию.

Первая включает 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

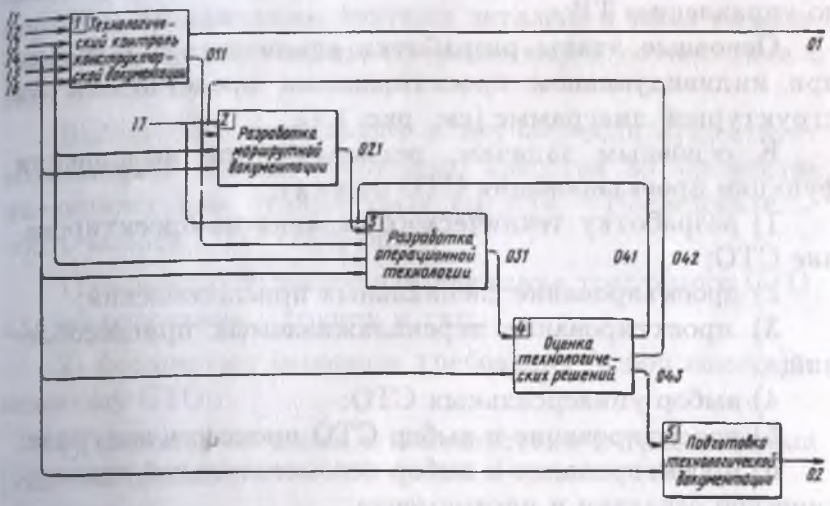


Рис. 1.4. Структурная диаграмма разработки единичного ТП изготовления деталей и сборки при индивидуальном проектировании:

*I*1 – конструкторская документация на изделие; *I*2 – конструкторская документация на директивную заготовку; *I*3 – программа выпуска изделий; *I*4 – информационное обеспечение; *I*5 – чертежи изделий, отработанных на технологичность; *I*6 – чертеж заготовки (разработанный); *I*7 – изменения ТП изготовления деталей; *О*1 – изменения конструкций деталей; *О*11 – конструкторская документация, прошедшая технологический контроль; *О*21 – параметры маршрутной технологии; *О*31 – параметры маршрутной и операционной технологий; *О*41 – изменения маршрутного ТП; *О*42 – изменения операционной технологии; *О*43 – параметры маршрутной и операционной технологий; *О*2 – ТП изготовления детали

расхода материалов и др.); в производственных инструкциях и документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

Вторая содержит данные, представленные в технологической документации опытного производства; в описаниях прогрессивных методов изготовления и ремонта; каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок прогрессивных СТО; в схемах планировки производ-

ственных участков, а также в методических материалах по управлению ТП.

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:

1) разработку технического задания на проектирование СТО;

2) проектирование специальных приспособлений;

3) проектирование переналаживаемых приспособлений;

4) выбор универсальных СТО;

5) проектирование и выбор СТО процессов контроля;

6) 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 конструкторскую документацию на специальное станочное приспособ-

ление в соответствии со стандартами ЕСКД (сборочный чертеж, спецификация, чертежи деталей) и заказ на изготовление приспособления, оформленный в оответствии 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, для оборудования – группу и тип;

2) формируют основные требования (ключ поиска) к искомому СТО;

3) выполняют поиск в соответствии с 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 заготовок следующие:

1) выбор и оптимизация вида и метода изготовления заготовки;

2) разработка конструкции и оформление чертежа заготовки;

3) выбор ТП изготовления заготовки;

4) оформление заказа на изготовление заготовки.

Информационное обеспечение для решения указанных задач должно включать кроме инвариантной части (данные об имеющемся технологическом оборудовании, использующихся методах и процессах) специализированную часть, данные о технологических свойствах материалов (групп материалов); технико-экономические параметры действующего заготовительного производства; технико-экономические характеристики видов и методов изготовления заготовок (коэффициенты использования материалов, трудоемкости изготовления деталей, удельные себестоимости изготовления единицы массы заготовки или детали для каждого вида и метода изготовления), а также данные о действующих оптовых ценах на заготовки и реализуемые отходы, нормативы затрат, приходящихся на единицу времени работы оборудования, и данные о средних значениях 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 комбинированных заготовок разрабатывают сборочный чертеж заготовки (как сварного узла), спецификацию, а также рабочие чертежи составных частей – заготовок различных видов – с соблюдением соответствующих технических требований.

Комплектность и формы документации, в которой представляют результаты выбора и разработки ТП изготовления заготовок, зависят от видов и методов последних и регламентируются соответствующими стандартами ЕСТД.

Заготовка выбранного вида должна быть изготовлена выбранным методом в соответствии с предъявляемыми к ней техническими требованиями. Для организации непосредственного изготовления заготовки составляют "Карту заказа на изготовление заготовки".

Единой формы карты заказа 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 технологических решений (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 выполнении рассматриваемой функции ТПП, следующие:

1) сравнение заданных и фактических значений параметров качества изделий;

2) анализ причин отклонений параметров качества изделий;

3) принятие ТР о ликвидации отклонений параметров качества изделий;

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

Специфика указанной функции ТПП вводит дополнительный критерий ее выполнения – быстродействие. 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:

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

2) наличие нетехнологичных элементов конструкции изделия, которые не были устранены при отработке конструкции изделия на технологичность;

3) 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.);

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

5) возможные нарушения технологической дисциплины;

6) 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 мероприя-

тия 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 работников строгих правил технологической дисциплины; 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 выпуска. Для стабилизации качества изделий в условиях установившегося серийного производства можно применять различные устройства, выполняющие функцию 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

$$|П_з - П_ф| \leq T_п,$$

где $П_з$ и $П_ф$ – соответственно заданное и фактическое значение параметра качества изделия; $T_п$ – 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", "нет", "хорошо", "плохо"). Это, например, наличие покрытия, комплексная оценка качества покрытия и т.д. Сигналом о наличии отклонения здесь является сама бинарная оценка, чаще всего 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 действия выявленной причины ?

6. Может ли гарантироваться в дальнейшем невозобновление действия выявленной причины ?

При анализе причин отклонений качества используют аппарат математической статистики; регрессионного, дисперсионного, корреляционного анализов, а также другие математические методы. Численный анализ, если он

возможен, как правило, дает хорошие результаты. Однако в ряде случаев анализ затруднен невозможностью выявления локального множества возможных причин, существованием парных взаимовлияний рассматриваемых факторов, существенно нелинейным характером влияния фактора на качество. Особую сложность представляет установление взаимосвязи между бинарно выражаемым значением параметра качества и метрическим значением действующего возмущающего фактора (и наоборот).

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

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

2) пересмотром решения по выбору марки инструментального материала и заменой его более стойким;

3) пересмотром решения по выбору геометрических параметров режущей части инструмента;

4) пересмотром решения о выборе режима обработки с целью повышения оптимизации стойкости инструмента для конкретных условий обработки;

5) применением устройства автоматической размерной настройки (автоподналадчиков).

Поиск ТР осуществляют на основе накопленного технологического опыта и знаний.

Чем выше ответственность и сложность изделия, чем больше затрат потребовала техническая подготовка 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 бóльшая 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 технологических процессов изготовления деталей и сборки, а также в возможных изменениях конструкций деталей и сборочных единиц. Эти изменения, в случае их принятия, вносят в технологическую и конструкторскую документацию в порядке, предусмотренном стандартами. Указанная работа выполняется при тесном взаимодействии 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).

Небходимость 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 переворужения 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 переворужения или реконструкции участков (цехов) предприятия.

В зависимости от объема и новизны выполняемых проектных работ к их выполнению привлекают специалистов проектно-технологических институтов и инженеринговых фирм.

Для решения задач перспективного проектирования проводят предпроектное обследование действующего производства с целью оценки его технического уровня по

сравнению с лучшими отечественными и зарубежными производствами-аналогами и выявления так называемых "узких мест" и проблемных вопросов развития производства.

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 частью проекта 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

типов производства указанные ТП разрабатывают на все детали, сборочные единицы и изделия особенно подробно. Для условий единичного, мелкосерийного и серийного типов 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.

Помимо данной системы функционирование производства обеспечивают: система инструментального обеспечения, решающая задачи обеспечения рабочих мест всеми видами инструментов и приспособлений; система контроля качества изделий и управления ходом ТП; система ремонтного и технического обслуживания, отвечающая кр-

ме ремонта за снабжение рабочих мест электроэнергией, сжатым воздухом, охлаждающими жидкостями и удаление стружки от станков, а также некоторые другие системы и службы цеха.

Структура системы обеспечения функционирования, уровень автоматизации их 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 автоматизированого производства предполагает поэтапное решение перечисленных выше 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 параметров 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. Заданием 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 оптимальное 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 авто-

матизированной или неавтоматизированной форм выполнения ТПП, а также о степени автоматизации ТПП принимают на основе технико-экономических расчетов.

К АСТПП предъявляют ряд общих требований.

1. Система должна обеспечивать выполнение основных функций ТПП, предусмотренных стандартами в составе и объеме, необходимом и достаточном для проведения ТПП предприятия.

2. Система должна функционировать в режиме, обеспечивающем анализ промежуточных решений и подготовку на основе этого анализа исходных данных для выполнения последующих функций или дальнейшего решения задачи.

3. АСТПП должна состоять из подсистем, при этом необходимо обеспечить возможность их объединения в различных вариантах или автономное использование каждой подсистемы.

4. Предусматривается поэтапный ввод АСТПП в эксплуатацию присоединением новых подсистем по мере их готовности или необходимости.

5. Независимо от числа функций, реализуемых в АСТПП, исходные данные для них следует подготавливать 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 указанных функций и задач описан выше. Состав подсистем специального назначения устанавливают конкретно для каждого предприятия в зависимо-

сти от специфики ТПП и экономической целесообразности. 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 АСТПП и ее формализация.

2. Разработка машинной модели АСТПП.

3. Получение действующей рабочей модели системы.

Концептуальная модель системы обеспечивает переход от ее содержательного описания к формальному, т.е. формулируют модель системы и строят ее формальную (структурную) схему. Традиционный подход к созданию концептуальных моделей АСТПП 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 тома 1 настоящего учебника. Каждую функцию можно рассматривать как отдельную подсистему АСТПП. В свою очередь, каждую выделенную подсистему можно рассматривать 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 ограничиваются тремя - четырьмя уровнями.

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. Такой набор схем, называемый *моделью системы*, обычно 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 разложения). Объект анализа на схеме представляют в виде прямоугольника и рассматривают не изолированно, а с внешней средой. Среду изображают стрелками, направленными либо к прямоугольнику, либо от него. Среда имеет четыре составляющие: вход, выход, управление и механизм (рис. 1.5).

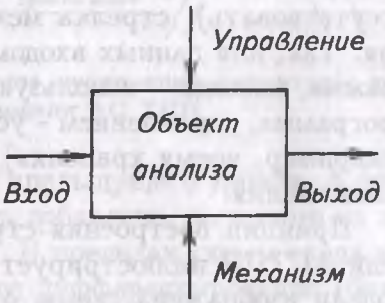


Рис. 1.5. Изображение объекта анализа и его среды

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 иллюстрирует рис. 1.6. На верхнем уровне модели 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 6), 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 ви-

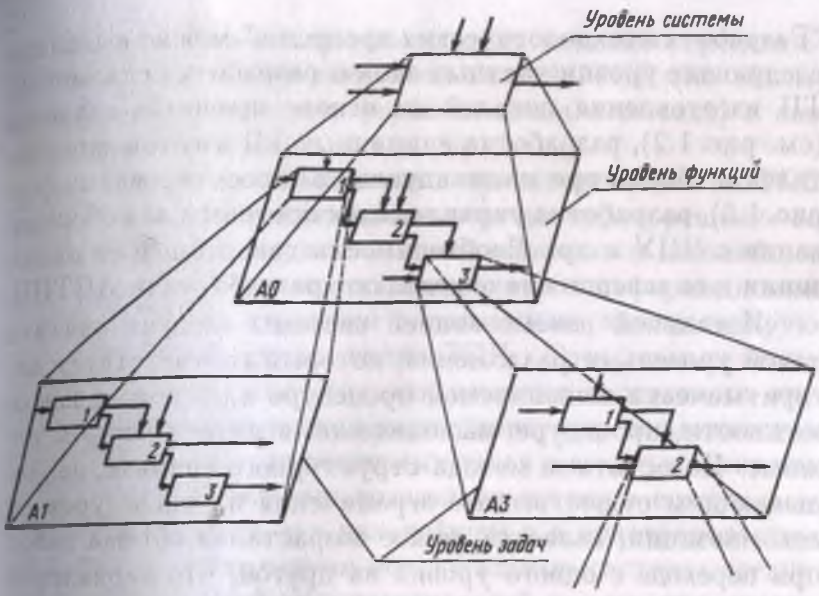


Рис. 1.6. Иллюстрация принципа построения структуры концептуальной модели АС ТПП

де 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 общая структура системы ТПП (см. рис. 1.7, том 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, выполняемой 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 структура может быть представлена в виде схемы, в которой указаны производственные подразделения АСТПП и связи между ними.

Информационная модель отражает информационные взаимосвязи элементов АСТПП, возникающие в процессе выполнения ее функций. Информационные модели представляют с помощью языков спецификаций информационных моделей. 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. Первый состоит в определении перечня задач, решение которых автоматизируется. Такой перечень в дальнейшем не пополняется, не предполагается его информационная и управляющая стыковки с системами, автоматизирующими решения других задач ТПП. Этим самым создаются локальные системы для решения постоянного круга задач. Второй подход характеризуется возможностью расширения перечня решаемых задач в локальной системе и стыковкой отдельных локальных систем в единую комплексную систему, 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 выбором объекта автоматизации в области ТПП, которым может быть:

1) система ТПП в целом (АСТПП) как совокупность взаимодействующих функциональных подсистем;

2) функциональная подсистема как совокупность задач ТПП, относящихся к рассматриваемой подсистеме;

3) 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 таких систем является один человек; технические средства систем – персональные ЭВМ, установленные на рабочем месте технолога, или специализированные аппаратные комплексы – автоматизированные рабочие места (АРМ) технолога.

Централизованные комплексы обслуживают отдельные производственные подразделения, т.е. несколько пользователей, и дают возможность решать одну или несколько задач ТПП, например разрабатывать единичные ТП изготовления деталей на основе процессов-аналогов, выбирать СТО и т.п. Технические средства этих систем – специализированные ЭВМ с сетью терминалов ввода-вывода, печатающими и другими периферийными устройствами, устанавливаемыми в соответствующих отделах и бюро.

Технические средства, объединенные в *интегрированные комплексы* позволяют решать достаточно большой объем разнообразных задач и выполнять отдельные функции ТПП в масштабе всего предприятия. Пользователями такой системы являются технологи и конструкторы ОГТ, технических отделов и бюро цехов, а также сотрудники конструкторских бюро предприятия. Доступ к таким системам должен быть дистанционным, вывод и ввод информации осуществляется через терминалы. Технические средства этих систем – большие универсальные ЭВМ с высоким быстродействием и значительным объемом памяти, управляющие ЭВМ, специализированные рабочие станции, персональные ЭВМ с периферийными устройствами, объединенные в единую вычислительную систему с помощью специальных каналов связи и образующие локальную сеть.

Основным режимом работы АСТПП следует считать интерактивный (диалоговый) режим. Отдельные задачи

или их фрагменты, для которых могут быть разработаны формальные алгоритмы решения, могут решаться в автоматическом (пакетном) режиме.

На основании разработанных концептуальной и информационной моделей разрабатывается и отлаживается программное обеспечение АСТПП, которое после развертывания на технических средствах формирует машинную модель системы.

Разработка концептуальных и информационных моделей АСТПП, несмотря на специализированный характер, сложность и предъявляемые высокие требования к качеству принимаемых решений, может быть эффективно выполнена только специалистами-технологами.

1.4.2. Проблемы автоматизации технологической подготовки производства

Создание полноценной, удовлетворяющей современным требованиям АСТПП, обеспечивающей комплексную реализацию функций ТПП и высокое качество последней, является сложной, до конца не решенной научно-технической проблемой.

Для ее решения необходимо, во-первых, исследование процессов принятия ТР в ходе ТПП, создание общей методологии ТПП, что позволяет представить указанные процессы в виде последовательности формальных процедур, и, во вторых, разработка эффективных средств (программных и аппаратных) представления процессов принятия ТР, позволяющих проводить автоматизацию этих процессов в программно-аппаратных комплексах.

Практически все функции ТПП содержат задачи, решение которых в автоматическом (пакетном) режиме при использовании средств вычислительной техники невозможно в силу недостаточной разработанности процедур принятия ТР и их недостаточной формализации.

Отработку конструкций на технологичность (см. рис. 1.1) в значительной мере можно рассматривать как

акт творчества, который пока не может быть сведен к последовательности формальных процедур.

Задачи, решаемые при разработке единичных ТП изготовления деталей на основе процессов-аналогов (см. рис. 1.2), являются формализуемыми, что нашло отражение в создании значительного числа систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПРТП), использующих принцип типовых решений. Эти системы можно рассматривать как отдельные программные модули, которые могут входить в состав АСТПП.

Наиболее трудно формализуемой задачей, решаемой при разработке единичных ТП изготовления деталей при индивидуальном проектировании (см. рис. 1.5), является создание маршрутной технологии, при разработке которой необходим синтез структуры маршрутного ТП (определение состава и последовательности технологических операций). В математической постановке эта задача сводится к поиску вариантов структур в счетных множествах с весьма значительным, хотя и ограниченным числом элементов. Формализация именно таких задач представляет наибольшие трудности. Задачи, решаемые при разработке операционной технологии, являются формализуемыми. Известно значительное число САПР операционной технологии, позволяющих обеспечивать высокое качество проектных решений.

Задачу разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ в настоящее время следует считать методологически решенной. Существующие системы автоматизированного программирования позволяют создавать управляющие программы высокого качества для обработки сложных заготовок практически в автоматическом режиме.

При проектировании станочных специальных приспособлений наиболее трудно формализуемой является задача эскизной проработки компоновки конструкции. В АСТПП эта задача решается с использованием средств машинной

графики. По-видимому, даже в перспективе, она не будет решаться в автоматическом (пакетном) режиме. Разработку сборочного чертежа и деталей приспособления следует считать задачами, выполнение которых возможно в пакетном режиме при использовании соответствующих технических средств.

Выбор вида и метода изготовления заготовки являются трудно формализуемыми задачами, решение которых в АСТПП требует наличия развитого информационного обеспечения и современных информационных технологий. Задачи оптимизации являются формализуемыми, но требуют разработки чувствительного и надежного критериального аппарата. Задачи выбора ТП, СТО и некоторые другие, сводящиеся к поиску объекта в некотором множестве объектов, являются формализуемыми и достаточно просто реализуемыми в АСТПП.

Практически все задачи, решаемые при выполнении функции контроля и управления ТП являются трудно формализуемыми.

Проведенный анализ раскрывает методологическую проблематику создания АСТПП.

Принятие любого ТР связано с переработкой геометрической информации, сопровождающей выполнение всех функций и задач ТПП. Носителями геометрической информации являются, например, чертеж детали или заготовки, операционный эскиз и т.д. На чертежах и эскизах геометрическая информация, представляя конструктивные параметры детали, является носителем и технологической информации. Специалист-технолог, изучая чертеж детали и ассоциативно воспринимая геометрическую и технологическую информацию, может мысленно изменять положение детали в пространстве, добавляя или исключая из изображения детали необходимые комплексы поверхностей и т.д. При создании АСТПП все указанные действия должны выполняться в автоматизированном режиме, что требует создания системы геометрического и технологического описания объекта (детали, заготовки,

сборочной единицы и т.д.). Разработка системы геометрического описания объекта должна основываться на применении вычислительных средств, обеспечивающих создание 3-мерных моделей геометрических объектов, в сочетании с эффективными методами технологического атрибутирования геометрических моделей. Под технологическими атрибутами здесь понимаются технологические параметры объекта (точность размеров, формы, взаимного расположения, шероховатость поверхностей и т.д.). Особую сложность вызывает значительное число и специфичность технологических атрибутов, которые, в принципе, могут относиться к любой из поверхностей или любому комплексу поверхностей.

Сложной задачей является выбор оптимальной конфигурации АСТПП по составу функций, задач и технических средств. Попытки создания универсальной АСТПП приводят к резкому усложнению ее разработки. Создание специализированной АСТПП может привести к неоправданному уменьшению реализуемых в ней функций и задач, а также к резкому снижению возможности адаптации АСТПП. Вопросам адаптируемости АСТПП следует уделять при разработке особое внимание. Значительно более целесообразной является разработка интегрированной адаптируемой АСТПП высокого качества, тиражируемой для предприятий отрасли, чем создание неадаптируемых АСТПП на каждом конкретном предприятии.

Особой проблемой является кадровое сопровождение разработки и эксплуатации АСТПП. Разработку АСТПП должны выполнять специалисты, имеющие базовое технологическое образование и обладающие глубокими практическими навыками в создании современных программно-аппаратных комплексов на базе вычислительной техники. Примерно такие же требования предъявляют и к специалистам, эксплуатирующим АСТПП. Для разработки и эксплуатации АСТПП можно привлекать специалистов в относительно узких областях, таких как технология машиностроения, разработка программного обеспечения и дру-

гих, но только в составе групп, объединяющих специалистов разного профиля, работающих над одной проблемой.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите подразделения предприятия, выполняющие ТПП. Укажите их функции.
2. Охарактеризуйте основные задачи, решаемые при обеспечении технологичности конструкций изделий в ходе ТПП.
3. Как выполняется разработка единичных ТП изготовления деталей на основе процессов-аналогов?
4. Как разрабатывают единичные ТП изготовления деталей при индивидуальном проектировании? Какое информационное обеспечение при этом используют?
5. В каких случаях осуществляют выбор, а в каких проектирование СТО? Какое информационное обеспечение при этом используют?
6. Назовите основные требования, предъявляемые к АСТПП. Что такое концептуальная и информационная модели АСТПП?

Глава 2

СТАНОЧНЫЕ, СБОРОЧНЫЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Разработку ТП сопровождают проектированием приспособлений. *Приспособлением* называют вспомогательное устройство для выполнения операций механической обработки, сборки, испытания и контроля. Наибольшую группу (около 70 %) составляют приспособления для механической обработки на станках. Применение станочных приспособлений устраняет разметку, повышает производительность труда и точность обработки, снижает себестоимость изделия, повышает безопасность работы и улучшает условия труда.

В зависимости от целевого назначения различают станочные приспособления для установки и закрепления заготовок, а также для установки и закрепления инструментов; сборочные приспособления; приспособления для контроля и испытания деталей и узлов. По степени специализации приспособления подразделяются на универсальные, переналаживаемые и специальные.

Универсальные приспособления применяют в индивидуальном и мелкосерийном типах производства. Их изготавливают централизованно специализированными пред-

приятиями: например, патроны для установки заготовок или инструментов, машинные тиски, поворотные столы и т.д. Иногда универсальные приспособления проектируют и изготавливают индивидуально для деталей определенного типа, но разных размеров.

Переналаживаемые (*обратимые*) *приспособления* применяют в мелко- и среднесерийном типах производства. Особую группу составляют переналаживаемые приспособления для групповой обработки.

Специальные приспособления предназначены для выполнения одной технологической операции. Поэтому их целесообразно применять в условиях массового и крупносерийного типов производства.

К приспособлениям предъявляют ряд требований. Они должны обеспечивать необходимую точность; быть удобными, эффективными и безопасными в работе; обеспечивать необходимую жесткость; быть простыми и удобными при регулировке и ремонте; обеспечивать требуемое положение детали или инструментов относительно рабочих органов.

В приспособлениях основными являются следующие элементы: установочные, для закрепления заготовок, для направления инструмента и контроля его положения, а также вспомогательные устройства и корпуса приспособлений.

Задача конструирования приспособления вытекает из общей задачи проектирования ТП изготовления изделий. Поэтому все исходные данные и принципиальные решения конструктор приспособления получает от технолога. Вместе с тем конструктору предоставляются широкие возможности для проявления творческой инициативы по разработке конструкций, обеспечивающих наибольшую эффективность производства. Он должен стремиться к снижению стоимости и сроков изготовления приспособлений.

В основу проектирования станочных приспособлений положена теория расчета точности обработки. Исходя из условия, что суммарная погрешность обработки Δ не

должна превышать допуск выдерживаемого размера T, т.е. $\Delta \le T$, допустимую погрешность, вызываемую применением приспособления, можно определить из неравенства

$$\varepsilon_{\text{п}} \le \sqrt{\left(T - \sum \Delta_{\text{ф}}\right)^2 - (\Delta_y^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + 3\Delta_{\text{и}}^2 + 3\Delta_{\text{т}}^2) - (\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2)},$$

где $\sum \Delta_{\text{ф}}$ – суммарная погрешность, связанная с геометрическими отклонениями оборудования; Δ_y – погрешность, вызванная упругими деформациями технологической системы; $\Delta_{\text{н}}$ – погрешность настройки технологической системы; $\Delta_{\text{и}}$ – погрешность, возникающая в результате размерного износа режущих инструментов; $\Delta_{\text{т}}$ – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы; $\varepsilon_{\text{б}}$ и $\varepsilon_{\text{з}}$ – соответственно погрешности базирования и закрепления заготовки.

Методика расчета составляющих данной формулы подробно изложена в гл. 2 тома 1 настоящего учебника.

2.2. ВЫБОР УСТАНОВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Основными видами поверхностей заготовок, которые могут быть использованы в качестве технологических баз, являются: плоские поверхности, наружные и внутренние цилиндрические поверхности, конические (центровые) и криволинейные (эвольвентные) поверхности.

Рассмотрим основные схемы и установочные элементы применительно к выше названным поверхностям.

2.2.1. Установка заготовки на плоские технологические базы

Для установки небольших по размерам заготовок на черновые или предварительно обработанные базовые поверхности применяют точечные постоянные опоры

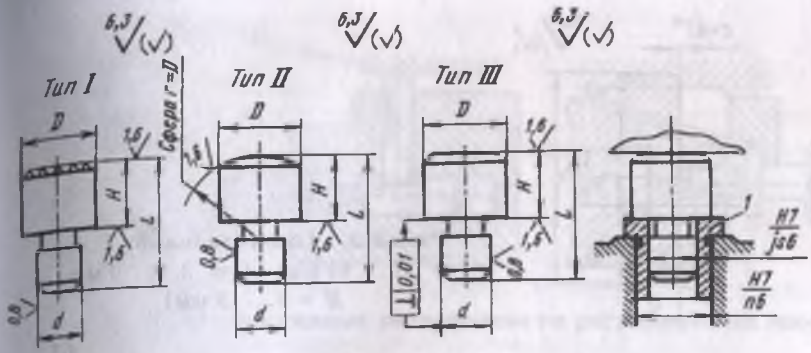


Рис. 2.1. Точечные опоры для установки на плоские поверхности ($D = 6 \ldots 40$ мм; $d = 4 \ldots 25$ мм; $H = 6 \ldots 40$ мм; $L = 10 \ldots 76$ мм)

(рис. 2.1). Опоры с насеченной (см. рис. 2.1, тип *I*) или сферической опорой (см. рис. 2.1, тип *II*) применяют для установки заготовок по черным поверхностям. При установке на предварительно обработанные поверхности рекомендуется использовать плоские точечные опоры (см. рис. 2.1, тип *III*). Размеры точечных опор нормализованы, и выбирают их в зависимости от предельной нагрузки. Точечные опоры типа *I* изготавливают из стали 45 ($HRC_э\,41 \ldots 46$), а типов *II* и *III* – из стали У7А ($HRC_э\,56 \ldots 61$) или из стали 20Х (цементированной и закаленной до $HRC_э\,56 \ldots 61$).

Точечные опоры запрессовывают в корпус приспособления либо непосредственно по посадкам H7/r6 или H7/n6, либо через стальную закаленную втулку *1* (см. рис. 2.1), что повышает ремонтопригодность приспособления.

Для установки заготовок по окончательно обработанным поверхностям применяют опорные шайбы (рис. 2.2) или опорные пластины (рис. 2.3). Шайбы используют для установки мелких, а пластины – средних и крупных заготовок. Допустимое давление на оба вида опор – 40 МПа.

Шайбы и пластины изготавливают из стали 20Х, цементированной на глубину $0,8 \ldots 1,2$ мм и термообработанной до твердости $HRC_э\,56 \ldots 61$.

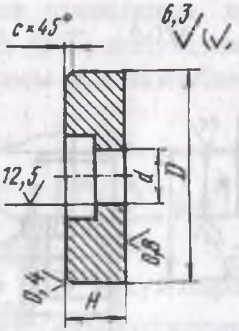


Рис. 2.2. Опорная шайба (D = = 16...40 мм; d = 3,4...9 мм; H = 5...16 мм)

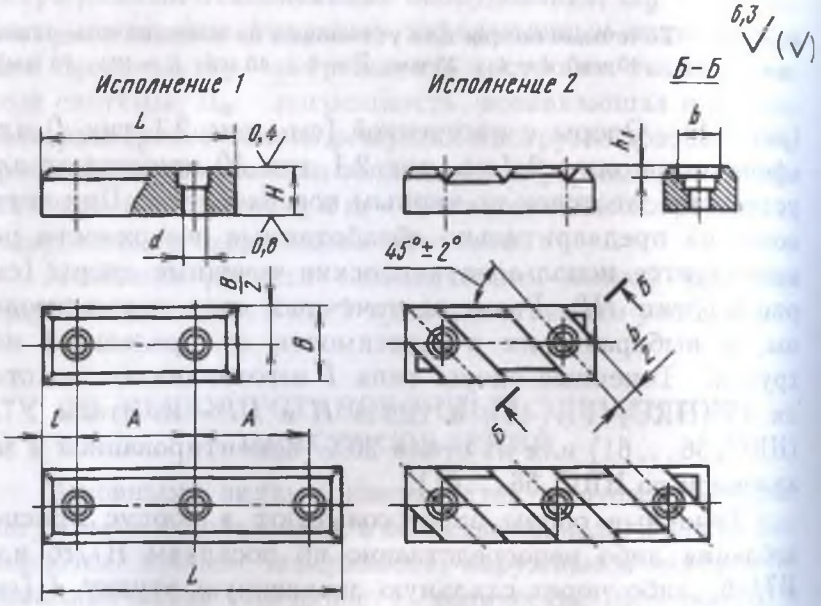


Рис. 2.3. Опорные пластины (H = 10...25 мм; L = 60...220 мм; B = 16...35 мм)

Конструктивные разновидности вспомогательных регулируемых опор показаны на рис. 2.4.

При установке на плоские технологические базы может возникнуть погрешность базирования, влияющая на точность выдерживаемых размеров или взаимного положения поверхностей. Рассмотрим расчет погрешности базирования для размера B (рис. 2.5) при фрезеровании уступа.

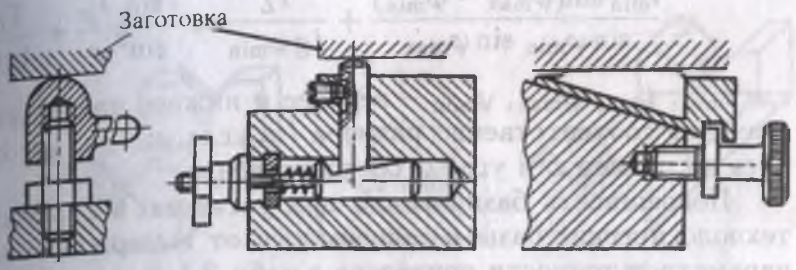


Рис. 2.4. Конструктивные разновидности регулируемых опор

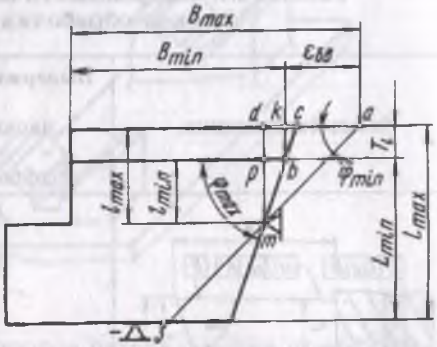


Рис. 2.5. Схема для расчета погрешности базирования

Предельные положения измерительной базы соответствуют положениям точек a и b. Тогда погрешность базирования размера B можно определить из равенства

$$\varepsilon_{6B} = ad - dk.$$

Из треугольников adm и bpm соответственно имеем

$$ad = l_{\max}/\operatorname{tg}\varphi_{\min};\quad dk = bp;$$
$$bp = l_{\min}/\operatorname{tg}\varphi_{\max}.$$

Подставив значения ad и dk в исходную формулу, получим

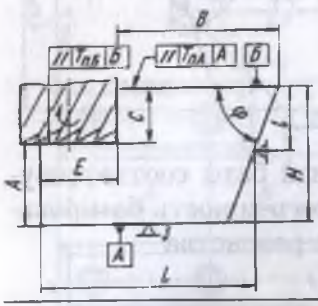
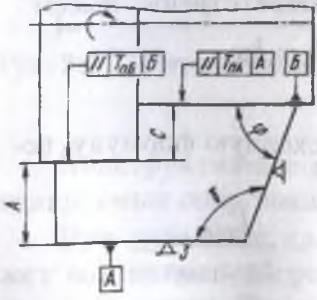
$$\varepsilon_{6B} = \frac{l_{\max}}{\operatorname{tg}\varphi_{\min}} - \frac{l_{\min}}{\operatorname{tg}\varphi_{\max}} = \frac{l_{\min}+T_L}{\operatorname{tg}\varphi_{\min}} - \frac{l_{\min}}{\operatorname{tg}\varphi_{\max}} =$$
$$= \frac{l_{\min}(\operatorname{tg}\varphi_{\max} - \operatorname{tg}\varphi_{\min})}{\operatorname{tg}\varphi_{\min}\operatorname{tg}\varphi_{\max}} + \frac{T_L}{\operatorname{tg}\varphi_{\min}} =$$

$$= \frac{l_{\min}\sin(\varphi_{\max}-\varphi_{\min})}{\sin\varphi_{\min}\sin\varphi_{\max}} + \frac{T_L}{\operatorname{tg}\varphi_{\min}} \approx \frac{l\sin T_\varphi}{\sin^2\varphi} + \frac{T_L}{\operatorname{tg}\varphi},$$

где $l_{\max}$, $l_{\min}$, $\varphi_{\max}$, $\varphi_{\min}$ – верхнее и нижнее предельные значения соответственно размера l и угла φ; T_L, T_φ – допуск на размер L и угол φ соответственно.

Погрешность базирования при установке на плоские технологические базы в зависимости от выдерживаемых параметров точности приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1. **Погрешность базирования для различных схем обработки**

Схема базирования	Выдерживаемый параметр точности	Погрешность базирования
	A	0
	B	$\frac{l\sin T_\varphi}{\sin^2\varphi} + \frac{T_в}{\operatorname{tg}\varphi}$ при $\varphi \neq 90°$ $l\sin T_\varphi$ при $\varphi = 90°$
	C	$T_в$
	E	T_L
	// $T_{п.Б}$ Б	$T_{п.А}$
	C	0
	Угол φ	T_γ
	// $T_{п.Б}$ Б	0

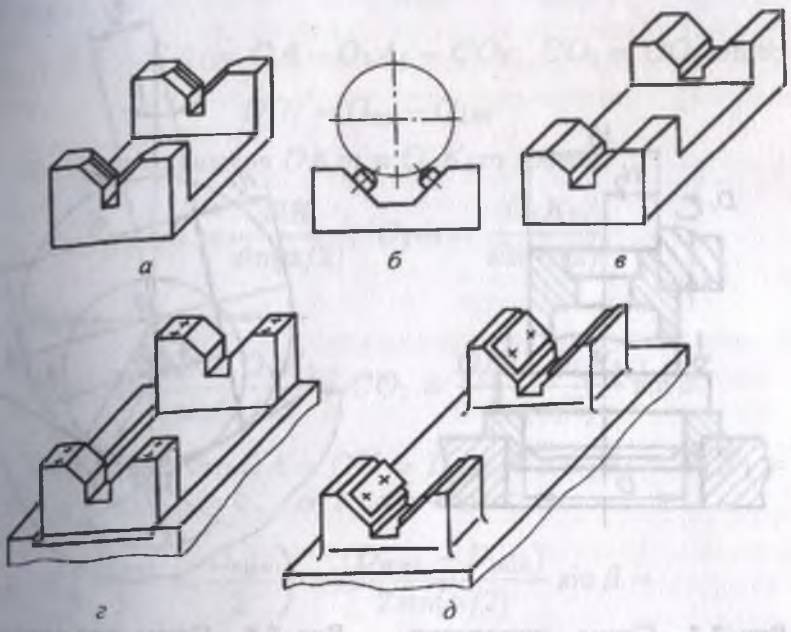


Рис. 2.6. Конструктивные разновидности призм

Заготовки по наружным поверхностям устанавливают в опорные призмы, втулки и самоцентрирующие патроны. Последние наряду с базированием обеспечивают закрепление заготовки. Поэтому их называют установочно-зажимными элементами приспособлений.

Для установки заготовки черными поверхностями применяют узкие призмы (рис. 2.6, *а*) или призмы с запрессованными точечными опорами (рис. 2.6, *б*). Для установки заготовок обработанными поверхностями используют широкие опорные призмы (рис. 2.6, *в* и *г*). Призмы больших размеров выполняют из серого чугуна с привернутыми стальными закаленными щеками (рис. 2.6, *д*).

Установку заготовок во втулку с базированием по цилиндрическому пояску и торцу фланца (рис. 2.7) осуществляют при точности базовой цилиндрической поверхности не ниже $IT8$.

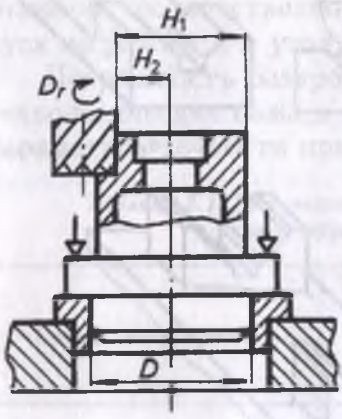


Рис. 2.7. Схема установки заготовки наружной цилиндрической и плоской торцевой поверхностями во втулку

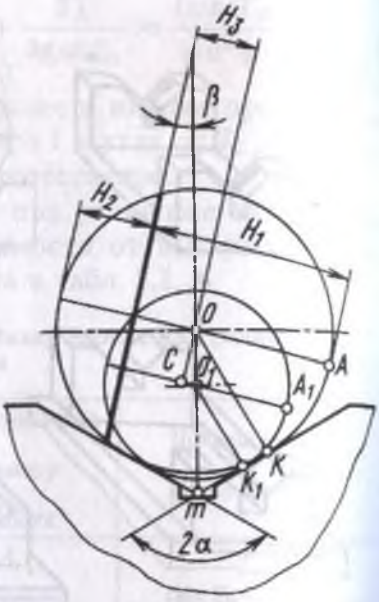


Рис. 2.8. Схема для определения погрешности базирования при установке заготовки в призму

Призмы и втулки изготавливают из стали 20Х, цементируемой на глубину $0,8 \ldots 1,2$ мм с последующей закалкой до твердости $HRC_э\, 55 \ldots 60$.

Погрешность базирования при установке в призму является функцией допуска T_D на диаметральный размер базовой поверхности заготовки. Рассмотрим общий случай возникновения погрешности базирования. На рис. 2.8 двумя окружностями с диаметрами D_{max} и D_{min} (предельные размеры) заготовки и с центрами O и O_1 изображены предельные положения базовой поверхности заготовки при обработке партии деталей.

При фрезеровании лыски выдерживают один из трех указанных на рисунке размеров H_1, H_2 или H_3. Погрешность базирования при выполнении размера H_1 определя-

ют так:

$$\varepsilon_{\delta H_1} = OA - CA_1 = OA - O_1A_1 - CO_1;\ CO_1 = OO_1 \sin\beta;$$

$$OO_1 = O_m - O_{1m}.$$

Из треугольников OKm и O_1K_1m имеем

$$Om = \frac{OK}{\sin(\alpha/2)};\ O_1m = \frac{O_1K_1}{\sin(\alpha/2)}.$$

Тогда

$$OO_1 = \frac{OK - O_1K_1}{\sin(\alpha/2)};\ CO_1 = \frac{OK - O_1K_1}{\sin(\alpha/2)} \sin\beta.$$

Учитывая, что $OA = OK = D_{\max}/2$ и $O_1A_1 = O_1K_1 = D_{\min}/2$, для $\beta = 0 \ldots \alpha/2$ получаем

$$\varepsilon_{\delta H_1} = \left(\frac{D_{\max}}{2} - \frac{D_{\min}}{2}\right) - \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{2\sin(\alpha/2)} \sin\beta =$$

$$= \frac{T_D}{2}\left[1 - \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha/2)}\right].$$

При $\beta = \alpha/2 \ldots 90^\circ$

$$\varepsilon_{\delta H_1} = \frac{T_D}{2}\left[\frac{\sin\beta}{\sin(\alpha/2)} - 1\right].$$

Аналогично можно определить погрешность базирования при выполнении размеров H_2 и H_3.

При установке заготовок во втулку (см. рис. 2.7) возможно их радиальное смещение в пределах зазора, обуславливающее возникновение погрешности базирования. Наибольшее радиальное смещение ε_{δ_r} равно половине максимального диаметрального зазора $S_{\max}$ и определяется из равенства

$$\varepsilon_{\delta_r} = \frac{S_{\max}}{2} = \frac{T_D}{2} + \frac{T_{DA}}{2} + \frac{S_{\min}}{2} + \frac{T_и}{2};$$

где T_D – допуск на диаметр базовой поверхности заготовки; T_{DA} – допуск на диаметр отверстия втулки; $S_{\min}$ – гарантированный минимальный диаметральный зазор; $T_и$ – допуск на износ втулки по диаметру.

2.2.2. Установка заготовки на внутреннюю цилиндрическую поверхность и перпендикулярную ее оси плоскость

Установку заготовок с базированием по отверстию осуществляют на оправки, пальцы и самоцентрирующие патроны. Оправки бывают жесткие и разжимные. Конические оправки (рис. 2.9, *а*) исключают погрешность базирования заготовки *1* в радиальном направлении, но имеют ее в осевом направлении. Точность центрирования составляет 0,005 . . . 0,01 мм. На жесткие резьбовые оправки (рис. 2.9, *б*) заготовку *1* устанавливают с зазором. Это обуславливает смещение технологической базы (отверстия) в радиальном направлении и, как следствие, возникновение погрешности базирования.

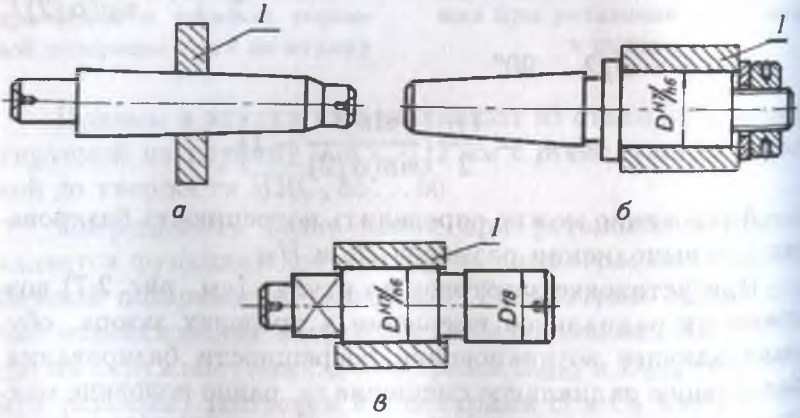


Рис. 2.9. Типы жестких оправок

На рис. 2.9, *в* представлена оправка, на которую заготовку насаживают с натягом. Для точной ориентации заготовки по длине оправки при запрессовке используют

упорные подкладные кольца. При установке на эти оправки погрешность базирования отсутствует, однако возможно повреждение базовой поверхности заготовки в процессе запрессовки или распрессовки. Точность центрирования составляет $0,005 \ldots 0,01$ мм.

Рекомендуемая точность базового отверстия при установке на жесткие оправки – не ниже $IT6 \ldots IT7$. Жесткие оправки выполняют из стали 20Х, цементируют на глубину $1,2 \ldots 1,5$ мм и термообрабатывают до твердости $HRC_э\,55 \ldots 60$.

Разжимные оправки исключают влияние зазора на точность базирования заготовки. Консольная разжимная оправка с разрезной втулкой *2* (рис. 2.10, *а*) обеспечивает выборку зазора и закрепление заготовки *1* вследствие деформации втулки при ее затяжке гайкой. Оправки этого типа применяют для установки заготовок с точностью базовых отверстий $IT9 \ldots IT12$. Точность центрирования для таких оправок находится в пределах $0,02 \ldots 0,04$ мм.

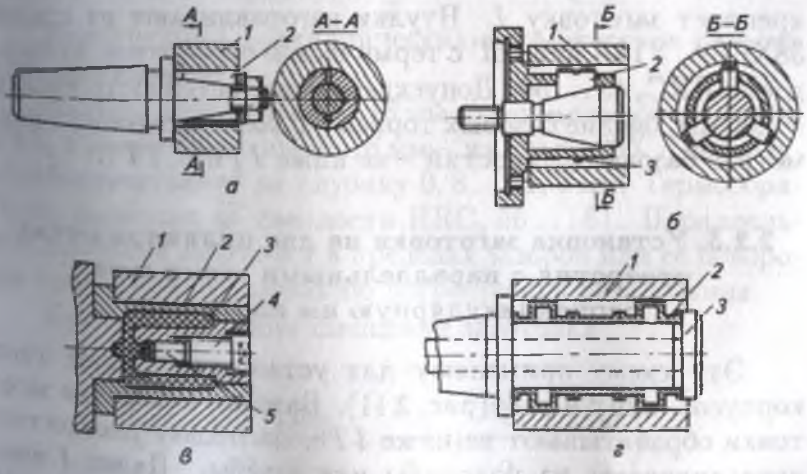


Рис. 2.10. Типы разжимных оправок

На рис 2.10, *б* показана оправка с тремя сухарями *2*, разжимаемыми внутренним конусом. Для предохранения

кулачков от выпадания предусмотрен кольцевой эластичный элемент *3*. Точность центрирования таких оправок в пределах $0,05 \ldots 0,1$ мм.

Оправки с упругой втулкой *2* (рис. 2.10, *в*), разжимаемой изнутри гидропластмассой *3*, обеспечивают точность центрирования $0,005 \ldots 0,01$ мм. Заготовка *1* закрепляется затягиванием винта *4*, который передает давление на гидропластмассу через плунжер *5*. Гидропластмасса имеет достаточную текучесть для равномерной передачи давления и достаточную вязкость, исключающие ее протечки в местах сопряжений. Ввиду того, что деформация (выпучивание) упругой втулки мала по величине, точность базового отверстия заготовки *1* должна быть $IT7 \ldots IT9$. Упругие втулки изготавливают из сталей У7А или 30ХГС с термической обработкой до твердости $HRC_э\,45 \ldots 50$.

Наибольшую точность центрирования ($0,02 \ldots$ $\ldots 0,003$ мм) обеспечивают оправки с гофрированными втулками *2* (рис. 2.10, *г*). Под действием осевой силы от штока *3* цилиндрическая часть втулок выпучивается и закрепляет заготовку *1*. Втулки изготавливают из сталей 38ХГСА, У10А или 65Г с термической обработкой до твердости $HRC_э\,45 \ldots 50$. Допускаемая разностенность втулки – 0,05 мм, биение базовых торцев – 0,005 мм, точность диаметров базовых отверстий – не ниже $IT6 \ldots IT7$.

2.2.3. Установка заготовки на два цилиндрических отверстия с параллельными осями и на перпендикулярную им плоскость

Эту схему применяют для установки деталей типа корпусов, плит и рам (рис. 2.11). Базовые отверстия заготовки обрабатывают не ниже $IT8$. Заготовку плоскостью устанавливают на пластины или шайбы. Палец *1* имеет цилиндрическую, а палец *2* – срезанную (ромбическую) форму, что уменьшает погрешность базирования. Гарантированные (минимальные) диаметральные зазоры $S_{1\,min}$ для цилиндрического и $S_{2\,min}$ для ромбического пальцев

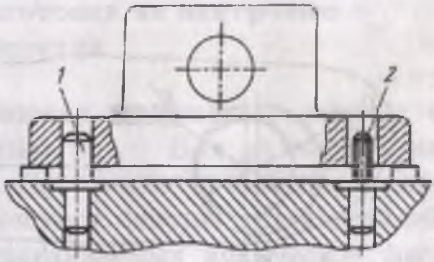


Рис. 2.11. Схема установки заготовки на два отверстия и перпендикулярную им плоскость

(рис. 2.12, *а*) выбирают из конструктивных соображений. В зависимости от зазора определяют величину перемычки из треугольников Okn и O_1km:

$$2e = \frac{D_{2\min} S_{2\min}}{2c} - c,$$

где $c = L_{\max} - L'_{\min} - \frac{S_{1\min}}{2}$.

Конструкции цилиндрических и ромбических пальцев стандартизованы.

Пальцы диаметром до 16 мм изготавливают из стали У8А, а диаметром свыше 16 мм – из стали 20Х с последующей цементацией на глубину 0,8 . . . 1,2 мм. Термообработку проводят до твердости $HRC_э$ 56 . . . 61. Параллельное смещение заготовки в пределах зазоров или ее повороты приводят к образованию погрешности базирования.

При параллельном смещении заготовки

$$\varepsilon_б = \pm\left(\frac{S_{1\min}}{2} + \frac{T_{d_1}}{2} + \frac{T'_{d_1}}{2} + \frac{T'_{и_1}}{2}\right),$$

где T_{d_1} – допуск на отверстие под цилиндрический палец; T'_{d_1} – допуск на цилиндрический палец; $T'_{и_1}$ – допуск на износ цилиндрического пальца.

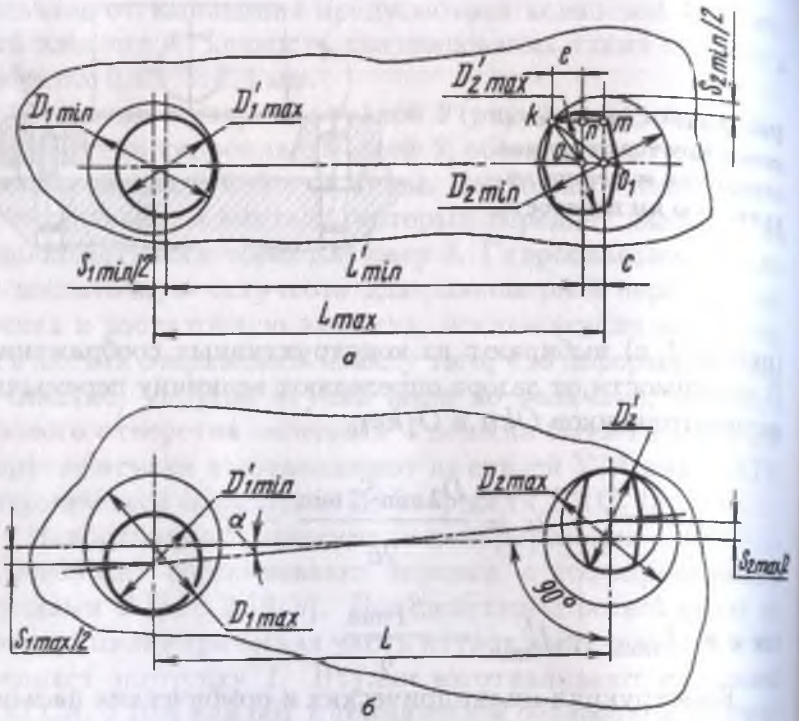


Рис. 2.12. Схемы для определения ширины цилиндрической ленточки ромбического пальца (*а*) и расчета погрешности базирования при развороте заготовки (*б*)

Наибольший угол поворота α заготовки (рис. 2.12, *б*) определяют по формуле

$$\sin\alpha \cong \cong \pm\left(\frac{S_{1\,min} + T_{d_1} + T'_{d_1} + S_{2\,min} + T_{d_2} + T'_{d_2} + T'_{и_1} + T'_{и_2}}{2L}\right),$$

где L – номинальное расстояние между осями базовых отверстий; T_{d_2} – допуск на диаметр отверстия под срезанный палец; T'_{d_2} – допуск на диаметр ленточки срезанного пальца; $T'_{и_2}$ – допуск на износ срезанного пальца.

2.2.4. Установка заготовки на центровые отверстия

Для этой схемы установки используют центры с углом при вершине, равным 60°. Для установки на центровые гнезда деталей типа валов применяют жесткие (рис. 2.13, *а*) и вращающиеся центры. Для деталей типа труб и гильз, устанавливаемых конической фаской большого диаметра, используют срезанные центры (рис. 2.13, *б–г*). Рифления центров необходимы для передачи крутящего момента.

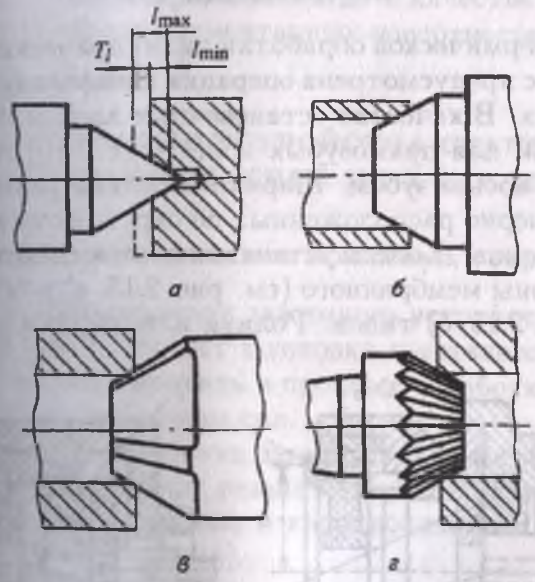


Рис. 2.13. Конструктивные разновидности центров

При установке на жесткие передние центры возникает погрешность базирования для линейных размеров, обусловленная допуском на глубину зацентровки T_l (см. рис. 2.13, *а*). Для исключения этой составляющей погрешности базирования применяют плавающий передний центр *1* (рис. 2.14). В этом случае при упоре заготовки в торец

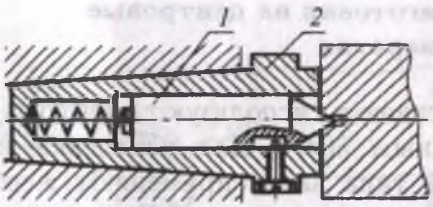


Рис. 2.14. Схема установки на плавающий передний центр

втулки *2* установочная и измерительные базы совмещаются.

2.2.5. Установка заготовки по зубчатым поверхностям

После термической обработки цилиндрических и конических колес предусмотрена операция шлифования базового отверстия. В качестве установочных элементов применяют ролики для прямозубых колес (рис. 2.15) и шарики для колес с косым зубом. Шарики и ролики размещают в трех равномерно расположенных по окружности впадинах зубчатого венца. Колеса устанавливают в самоцентрирующие патроны мембранного (см. рис. 2.15, *а*) или клинового (см. рис. 2.15, *б*) типов. Ролики или шарики заводятся

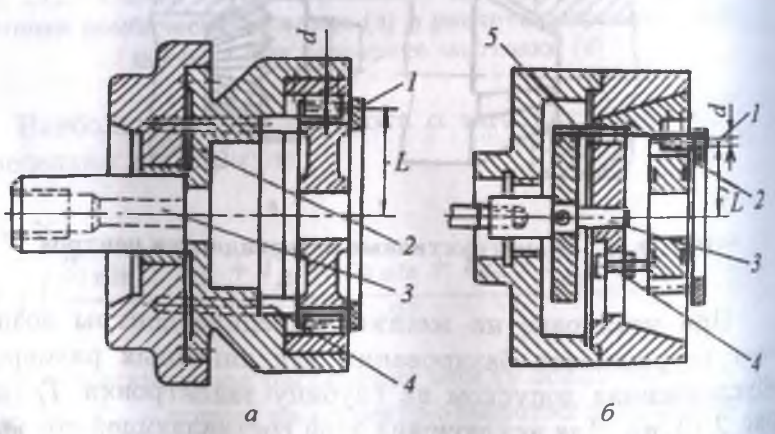


Рис. 2.15. Патроны для установки зубчатых колес по рабочим поверхностям

во впадину колеса специальной обоймой *1* и закрепляются там либо в результате выпрямления мембраны *2* (см. рис. 2.15, *а*) при отводе штока *3*, либо вследствии перемещения кулачков *2* по наклонным пазам корпуса патрона (см. рис. 2.15, *б*). В последнем случае сила от штока *3* передается на кулачки через гибкие пластины *5*. Для осевой ориентации служат упоры *4*. Конструкции мембранных и клиновых патронов нормализованы. Выбирают их в зависимости от диаметра ролика (шарика) d и расстояния между осями ролика и патрона L, которые определяют аналитически или с помощью номограмм.

Кроме выше рассмотренных основных схем установки применяют комбинированные, где в качестве баз используют совокупность элементарных поверхностей.

2.3. ЗАЖИМНЫЕ УСТРОЙСТВА СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ИХ РАСЧЕТ

2.3.1. Характеристика зажимных устройств

Основное назначение зажимного устройства – обеспечить надежный контакт заготовки с установочными элементами и предотвратить в процессе обработки смещение заготовки под действием сил.

В процессе обработки заготовка подвергается воздействию следующих сил: резания, объемных (сила тяжести заготовки, центробежные и инерционные силы) и второстепенных (силы трения).

Основные требования, предъявляемые к зажимным устройствам:

1) простота, надежность, жесткость и износостойкость;

2) постоянная по величине сила закрепления и минимальное время закрепления–открепления заготовки;

3) отсутствие деформации заготовки и ее смещения в процессе закрепления.

При расчете сил закрепления необходимо знать: 1) величину, направление и точку приложения возмущающих сил, которые могут сместить заготовку; 2) схемы установки и закрепления заготовки в приспособлении. Этот расчет является решением задачи статики, когда сила закрепления должна уравновешивать заготовку при действии различных внешних сил.

В ходе расчета необходимо принимать во внимание упругую характеристику механизма закрепления. Зажимные устройства, применяемые в приспособлениях, разделяют на два типа:

1) самотормозящие устройства: винтовые, клиновые, эксцентриковые и другие механизмы, обеспечивающие жесткое замыкание независимо от вида привода. Упругие отжатия элементов таких устройств прямо пропорциональны приложенной силе;

2) автоматизированные зажимные устройства: пневматические, гидравлические и пневмо-гидравлические механизмы прямого действия без промежуточных элементов. Если к зажимному элементу этих устройств (например, к штоку) приложить возрастающую силу, то перемещение элемента (штока) не произойдет до тех пор, пока значение этой силы не превысит определенный уровень, после чего шток сразу переместится на значительную величину.

Рассмотрим заготовку, установленную в приспособлении (рис. 2.16, *а*). При этом мы можем констатировать, что сила закрепления Q распределяется между всеми основными составляющими элементами: опорами *1*, самой заготовкой *2*, зажимным устройством *3* и корпусом *4* приспособления. Тогда корпус является тем элементом, на котором замыкаются все действующие силы.

Если сила резания P направлена против силы закрепления Q, то зависимость смещения заготовки y и силы P будет определяться упругой характеристикой зажимного устройства. На рис. 2.16, *б* прямые *1* и *2* представляют упругое смещение заготовки при использовании зажимных устройств соответственно первого и второго типов, пола-

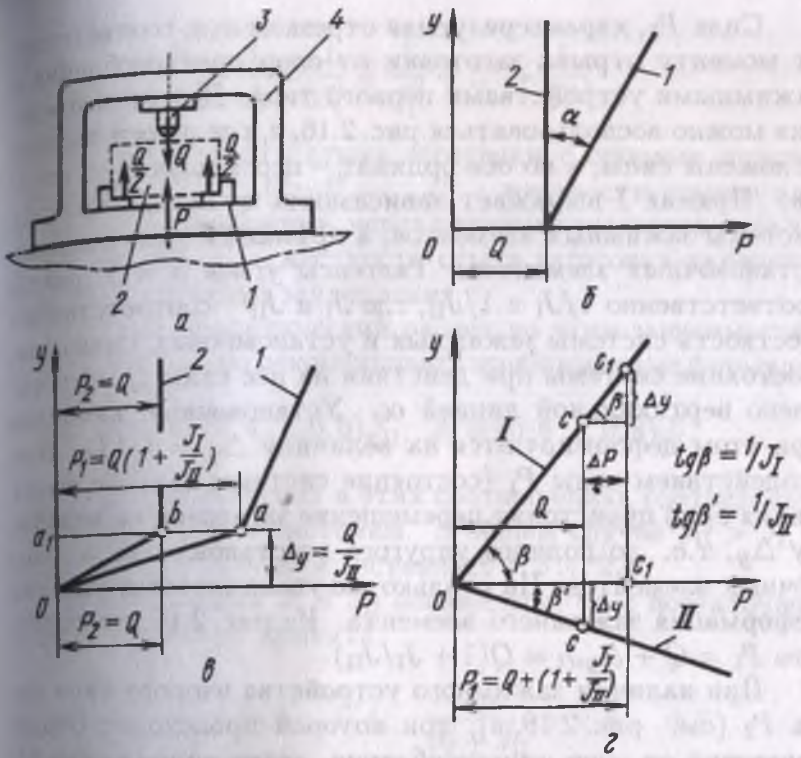


Рис. 2.16. Влияние упругих деформаций элементов приспособлений на силу закрепления

гая, что все другие элементы рассматриваемой системы (за исключением заготовки) являются абсолютно жесткими. Однако в действительности установочные элементы не являются абсолютно жесткими; поэтому под действием сил резания упругие смещения перераспределяются и имеют вид, представленный на рис. 2.16, *в*. Величина Δ_y здесь характеризует полное восстановление предварительно деформированных звеньев системы, связанных с установочными элементами. Дальнейшее увеличение силы P приведет к отрыву заготовки от установочных элементов. Сравнивая характеристики *1* и *2*, можно констатировать, что момент отрыва произойдет раньше у зажимных устройств второго типа (кривая *2*).

Сила P_1, характеризуемая отрезком a_1a, соответствует моменту отрыва заготовки от опор приспособления с зажимными устройствами первого типа. Для ее нахождения можно воспользоваться рис. 2.16, *г*, где по оси абсцисс отложены силы, а по оси ординат – перемещения заготовки. Прямая I выражает зависимость этих величин для системы зажимных элементов, а прямая II – для системы установочных элементов. Тангенсы углов β и β' равны соответственно $1/J_{\text{I}}$ и $1/J_{\text{II}}$, где J_{I} и J_{II} – соответственно жесткость системы зажимных и установочных элементов. Состояние системы при действии на нее силы Q представлено вертикальной линией cc. Установочные элементы при этом деформируются на величину $\Delta_y = Q/J_{\text{II}}$. Под воздействием силы P_1 (состояние системы характеризует линия c_1c_1) происходит перемещение заготовки на величину Δ_y, т.е. до полного упругого восстановления установочных элементов. На столько же увеличивается упругая деформация зажимного элемента. Из рис. 2.16, *г* следует, что $P_1 = Q + \Delta_y J_{\text{I}} = Q(1 + J_{\text{I}}/J_{\text{II}})$.

При наличии зажимного устройства второго типа сила P_2 (см. рис. 2.16, *в*), при которой происходит отрыв заготовки от опор приспособления, равна силе зажима Q, что показано отрезком a_1b. Отношение сил

$$P_1/P_2 = 1 + J_{\text{I}}/J_{\text{II}}.$$

Из равенства следует, что отрыв заготовки от опор при наличии зажимных элементов первого типа наступает при бо́льших значениях сил резания, чем при использовании зажимных элементов второго типа.

Расчет сил закрепления предполагает наличие данных о жесткости установочных и зажимных устройств, о коэффициентах трения f и запаса приспособления k.

Жесткость системы установочных и зажимных элементов определяют из выражений

$$\frac{1}{J_{\text{II}}} = \frac{1}{J'_{\text{II}}} + \frac{1}{J''_{\text{II}}} + \ldots + \frac{1}{J^n_{\text{II}}};$$

$$\frac{1}{J_{\text{I}}} = \frac{1}{J'_{\text{I}}} + \frac{1}{J''_{\text{I}}} + \ldots + \frac{1}{J^n_{\text{I}}},$$

где J'_{II} – жесткость стыка заготовки с опорами приспособления; $J''_{\text{II}}, \ldots, J^n_{\text{II}}$; $J''_{\text{I}}, \ldots, J^n_{\text{I}}$ – жесткости стыков элементов приспособления, через которые передается сила закрепления Q; J'_{I} – жесткость стыка заготовка–зажимной элемент механизма закрепления.

Так как теоретический расчет по этим зависимостям затруднен, можно рекомендовать приближенные формулы:

$$J_{\text{II}} = (0,4 \ldots 0,6) J'_{\text{II}}; \quad J_{\text{I}} = (0,6 \ldots 0,8) J'_{\text{I}}.$$

Меньшие значения в этих соотношениях соответствуют более жестким системам. В общем случае $J_{\text{II}} > J_{\text{I}}$, а отношение их значений составляет $1,5 \ldots 2,5$.

Если значения J_{I} и J_{II} неизвестны, то с достаточной точностью можно принять

$$\frac{J_{\text{I}}}{J_{\text{I}} + J_{\text{II}}} = 0,3 \ldots 0,4; \quad \frac{J_{\text{II}}}{J_{\text{I}} + J_{\text{II}}} = 0,6 \ldots 0,7.$$

Значение коэффициента трения f зависит от состояния поверхности заготовок и вида опор. Для обработанных заготовок можно принимать $f = 0,16$. Для необработанных поверхностей значение f изменяется от 0,18 до 0,3, поэтому на практике можно рекомендовать $f = 0,2 \ldots 0,25$. Для рифленых опор коэффициент f может достигать 0,7. Для чугунных и стальных заготовок зависимость между коэффициентом трения f и силой N имеет вид

$$f = 0,0005N + 0,2,$$

где N – сила, действующая на 1 см^2 установочного элемента нормально к поверхности.

Коэффициент запаса k следует определять, принимая во внимание различные факторы процесса обработки

(условия выполнения операций, способ закрепления заготовки и др.). На практике его значение вычисляют по формуле

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6,$$

где k_0 – гарантированный коэффициент запаса, $k_0 = 1,5$; факторы, учитываемые остальными коэффициентами, а также их значения, приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. **Значение коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 и k_6**

Коэффициент	Фактор, учитываемый коэффициентом	Значение
k_1	Увеличение сил резания из-за случайных неровностей на заготовках	1, 2 – для черновой обработки 1, 0 – для чистовой обработки
k_2	Затупление режущего инструмента в зависимости от метода обработки	1, 0 и 1, 15 – для осевой силы и крутящего момента при сверлении; 1, 2 и 1, 3 – для осевой силы и крутящего момента при зенкеровании; 1, 2...1, 6 и 1, 05...1, 4 – для предварительного и чистового точения и растачивания соответственно; 1, 2...1, 6 – для окружной силы при предварительном и чистовом цилиндрическом фрезеровании; 1, 2...1, 8 – для тангенциальной силы при предварительном и чистовом торцевом фрезеровании; 1, 5 – при протягивании; 1, 15...1, 2 – для окружной силы при шлифовании

Окончание табл. 2.2

Коэффициент	Фактор, учитываемый коэффициентом	Значение
k_3	Увеличение силы резания при прерывистом резании	1, 2 – при точении
k_4	Непостоянство зажимного усилия	1, 3 – для ручных зажимных устройств 1, 0 – для пневматических и гидравлических устройств
k_5	Степень удобства расположения рукояток в ручных зажимных устройствах	1, 0 – при удобном расположении и малой длине рукоятки; 1, 2 – при отклонении угла рукоятки на 90°
k_6	Неопределенность положения из-за неровностей места контакта заготовки с опорными элементами, имеющими большую опорную поверхность (учитывается только при наличии крутящего момента, стремящегося повернуть заготовку)	1, 0 – для опорного элемента, имеющего ограниченную поверхность контакта с заготовкой; 1, 5 – для опорного элемента с большой площадью контакта

2.3.2. Основные схемы установки заготовок и расчет сил закрепления

1. Силы резания P и закрепления Q прижимают заготовку к установочным элементам (рис. 2.17, *а*). Когда сила P постоянна, сила закрепления Q может отсутствовать. Если при обработке возникает сдвигающая сила N, направленная противоположно силе закрепления зажимного устройства, то $Q = kN$.

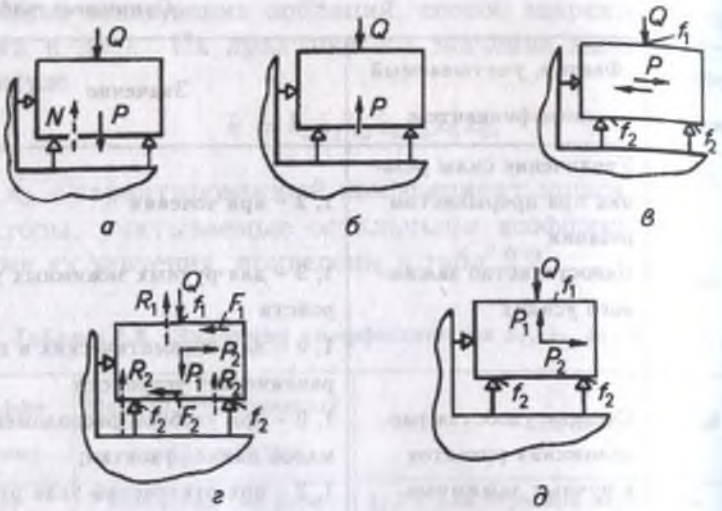


Рис. 2.17. Принципиальные расчетные схемы для определения сил закрепления

2. Сила резания P направлена противоположно силе закрепления Q (рис. 2.17, *б*). Для зажимных устройств второго типа должно выполняться условие $Q = kN$. Для зажимных устройств первого типа сила закрепления

$$Q = kP\left(\frac{J_{II}}{J_I + J_{II}}\right).$$

3. Сила резания стремится сдвинуть заготовку с установочных элементов (рис. 2.17, *в*). Смещению заготовки препятствуют силы трения в местах контакта заготовки с установочными элементами. Следовательно,

$$P < Qf_1 + Qf_2,$$

где f_1 и f_2 – коэффициенты трения между деталью и зажимным и установочным элементами приспособления. Считая коэффициент запаса $k > 0$, имеем

$$kP = Qf_1 + Qf_2,$$

откуда

$$Q = \frac{kP}{f_1 + f_2}.$$

Эту расчетную схему применяют также в случае установки заготовки на два отверстия и перпендикулярную им плоскость.

4. Сила резания P_1 направлена к опорам (рис. 2.17, *г*); кроме того имеется сдвигающая сила P_2, действующая в горизонтальном направлении.

Для зажимных устройств второго типа имеем

$$P_2 < (Q + P_1)f_2 + Qf_1,$$

откуда

$$Q = \frac{kP_2 - P_1 f_2}{f_1 + f_2}.$$

Для зажимных устройств первого типа действие силы P_1 приводит к появлению реакций R_2 и R_1 в опорах и в месте приложения силы закрепления соответственно. По аналогии со случаем, представленным на рис. 2.17, *б*, реакции R_1 и R_2 можно определить по формулам

$$R_1 = Q - P_1\Big(\frac{J_1}{J_1 + J_{II}}\Big).$$

$$R_2 = Q + P_1\Big(\frac{J_{II}}{J_1 + J_{II}}\Big);$$

Силу трения, препятствующую сдвигу заготовки, найдем из равенства

$$kP_2 = f_1 R_1 + f_2 R_2,$$

или

$$kP_2 = Q\Big(f_1 + f_2\Big) + P_1\Big(\frac{J_{II} f_2}{J_1 + J_{II}} - \frac{J_1 f_1}{J_1 + J_{II}}\Big),$$

откуда

$$Q = \frac{kP_2 + \dfrac{P_1}{J_\text{I} + J_\text{II}}\left(J_\text{I} f_1 - J_\text{II} f_2\right)}{f_1 + f_2}.$$

5. В отличие от предыдущего случая сила P_1 направлена противоположно зажимному устройству (рис. 2.17, *д*). Сила закрепления Q должна быть достаточной, чтобы обеспечить контакт заготовки с опорами и предупредить сдвиг заготовки в направлении действия силы P_2.

Для зажимных устройств второго типа условие контакта заготовки с опорами имеет вид

$$Q' = k_1 P_1.$$

Силу трения, препятствующую сдвигу заготовки, можно определить из равенства

$$k_2 P_2 = Q'' f_1 + (Q'' - P_1) f_2,$$

откуда

$$Q'' = \frac{k_2 P_2 + P_1 f_2}{f_1 + f_2}.$$

Из двух сил Q' и Q'' выбирают наибольшую.

Для зажимных устройств первого типа соответствующие уравнения имеют вид

$$Q' = k_1 P_1 \left(\frac{J_\text{II}}{J_\text{I} + J_\text{II}}\right);$$

$$Q'' = \frac{k_2 P_2 - f_1 P_1 \left(\dfrac{J_\text{I}}{J_\text{I} + J_\text{II}}\right) + f_2 P_1 \left(\dfrac{J_\text{II}}{J_\text{I} + J_\text{II}}\right)}{f_1 + f_2}.$$

Выбрав из двух сил Q' и Q'' наибольшую, находят необходимую силу закрепления.

2.3.3. Схемы для расчета сил закрепления заготовки под действием внешнего момента

1. Заготовка, установленная в трехкулачковом патроне, находится под воздействием момента M и осевой силы резания P (рис. 2.18, *а*).

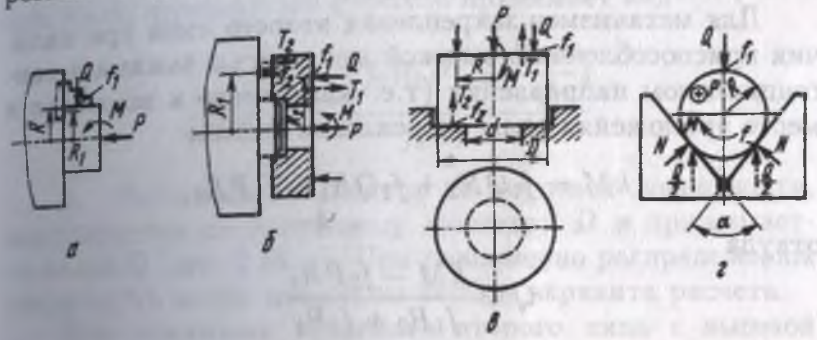


Рис. 2.18. Схемы для расчета сил закрепления при обработке тел вращения

Силу закрепления можно определить по формуле

$$Q = \frac{kM}{3fR},$$

где f – коэффициент трения на поверхностях кулачков; R – радиус заготовки.

При больших значениях P могут возникнуть дополнительные силы трения между торцем заготовки и уступами кулачков.

Если $P/3 > Qf_1$, где f_1 – коэффициент трения при перемещении заготовки вдоль опор, то силу Q рассчитывают из условия

$$kM = 3fRQ + 3f_2 R_1 \left(\frac{P}{3} - f_1 Q\right),$$

т.е.

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P}{3fR - 3f_1 f_2 R_1},$$

где f_2 – коэффициент трения в местах контакта заготовки с уступами кулачков; R_1 – средний радиус контакта по уступам.

2. На заготовку, центрированную по внутренней выточке и прижимаемую к опорам в двух или более местах закрепления (рис. 2.18, *б*), в ходе обработки действуют момент резания M и осевая сила P.

Для механизмов закрепления второго типа при наличии приспособления с высокой жесткостью зажима в тангенциальном направлении (т.е. касательно к заготовке в месте приложения силы закрепления) имеем

$$kM = f_1 Q R_2 + f_2 Q R_1 + f_2 P R_1,$$

откуда

$$Q = \frac{kM - f_2 P R_1}{f_1 R_2 + f_2 R_1}.$$

Если же жесткость зажимного устройства в тангенциальном направлении мала, то силой трения между заготовкой и прижимами пренебрегают, и уравнения принимают следующий вид:

$$kM = f_2 Q R_1 + f_2 P R_1,$$
$$Q = \frac{kM - f_2 P R_1}{f_2 R_1}.$$

Для механизмов закрепления первого типа при высокой жесткости зажимного механизма в тангенциальном направлении сила P вызывает изменение реакций опор и зажимного устройства:

$$T_1 = Q - P\Big(\frac{J_{\text{I}}}{J_{\text{I}} + J_{\text{II}}}\Big), \quad T_2 = Q + P\Big(\frac{J_{\text{II}}}{J_{\text{I}} + J_{\text{II}}}\Big).$$

Отсюда

$$kM = f_1 T_1 R_2 + f_2 T_2 R_1,$$

где T_1 и T_2 – реакции между зажимными устройствами и заготовкой и опорами и заготовкой соответственно.

После преобразований получаем

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P\left(\frac{J_{II}}{J_I + J_{II}}\right) + f_1 R_2 P\left(\frac{J_I}{J_I + J_{II}}\right)}{f_1 R_2 + f_2 R_1}.$$

В случае, если жесткость в тангенциальном направлении мала, предыдущая формула принимает вид

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P\left(\frac{J_{II}}{J_I + J_{II}}\right)}{f_2 R_1}.$$

3. Заготовка базируется по торцевой поверхности, центрируется по наружному диаметру D и прижимается силой Q (рис. 2.18, *в*). При равномерно распределенной нагрузке на опоры возможны четыре варианта расчета.

Для зажимных устройств второго типа с высокой жесткостью в тангенциальном направлении имеем

$$kM = Qf_1 R + \frac{1}{3} Q f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right) + \frac{1}{3} P f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right),$$

откуда

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P\left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right)}{\frac{1}{3} f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right) + f_1 R}.$$

Если же жесткость зажимного устройства в тангенциальном направлении мала, то

$$Qf_1 R \approx 0, \text{ или } T_1 \cong 0$$

и

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P\left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right)}{\frac{1}{3} f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right)}.$$

Для зажимных устройств первого типа при большой жесткости в тангенциальном направлении уравнения имеют следующий вид:

$$T_1 = Q - P\left(\frac{J_1}{J_1 + J_{II}}\right); \quad T_2 = Q + P\left(\frac{J_{II}}{J_1 + J_{II}}\right);$$

$$kM = T_1 f_1 R + \frac{1}{3} T_2 f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right),$$

откуда

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right)\left(\frac{J_{II}}{J_1 + J_{II}}\right) + f_1 RP\left(\frac{J_1}{J_1 + J_{II}}\right)}{\frac{1}{3} f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right) + f_1 R}.$$

При низкой жесткости механизма в тангенциальном направлении

$$Q = \frac{kM - \frac{1}{3} f_2 P \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right)\left(\frac{J_{II}}{J_1 + J_{II}}\right)}{\frac{1}{3} f_2 \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}\right)}.$$

4. Цилиндрическая заготовка установлена в призму с углом α и закреплена силой Q (рис. 2.18, *г*).

Не принимая во внимание трение на торце заготовки, для случая, когда $M \neq 0$ и осевая сила $P = 0$, имеем

$$kM = f_1 RQ + f_2 RQ \frac{1}{\sin(\alpha/2)},$$

откуда

$$Q = \frac{kM}{f_1 R + f_2 R \frac{1}{\sin(\alpha/2)}}.$$

В случае, если $P \neq 0$, $M = 0$, формула принимает вид

$$Q = \frac{kP}{f_1' + f_2' \dfrac{1}{\sin(\alpha/2)}},$$

где f_1' и f_2' – коэффициенты трения в продольном направлении. Из двух значений Q выбирают наибольшее.

2.3.4. Расчет простейших зажимных устройств станочных приспособлений

Расчет зажимных устройств проводят с целью определения основных размеров этих механизмов. По известной силе закрепления Q рассчитывают или прикладываемую силу P, или развиваемый момент M, которые определяют геометрические параметры механизма.

Винтовые механизмы

Винтовые механизмы просты и надежны. Зная необходимую силу закрепления Q, определяют номинальный (наружный) диаметр винта по формуле

$$d = c\sqrt{Q/\sigma},$$

где c – коэффициент, зависящий от типа резьбы (для метрической резьбы $c = 1,4$); σ – напряжение растяжения.

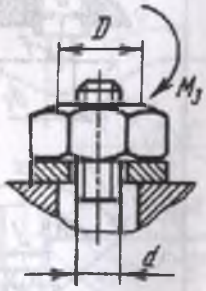


Рис. 2.19. Зажимной элемент винт – гайка

Момент, развиваемый на рукоятке ключа (рис. 2.19),

$$M_з = \bar{r}\, Q \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + M_{тр};$$

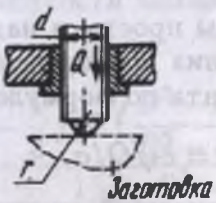
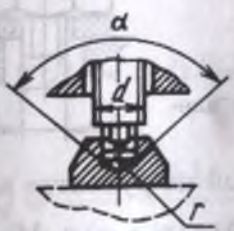
где $\overline{r}$ – средний радиус резьбы; α – угол подъема резьбы; φ – угол трения в резьбе; $M_{тр}$ – момент трения на опорном торце гайки или винта,

$$M_{тр} = \frac{1}{3} fQ \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right).$$

При откреплении необходимо преодолевать трение покоя, потому $M_{откр} \cong 0,25dQ$.

В табл. 2.3 приведены формулы для расчета момента затяжки.

Таблица 2.3. **Формулы для расчета момента затяжки винтами разной конструкции**

Условия работы винта	Схема	Формула для расчета
Работа на сжатие		$M_з \cong 0,1dQ$
		$M_з = 0,1dQ + \frac{fQd_1}{3}$
		$M_з \cong 0,1Q(d+r)$ при $\alpha = 120°$, $f = 0,16$

Условия работы винта	Схема	Формула для расчета
Работа на растяжение		$M_з \cong 0,22dQ$

Эксцентриковый зажим

Эксцентриковые зажимы (рис. 2.20, *а*) являются быстродействующими, обладают свойством самоторможения, но плохо работают в условиях вибраций. Параметры, необходимые для проведения расчета: IT – допуск на размер детали, по которому производится закрепление; α – угол поворота эксцентрика из начального положения; Q – сила закрепления; S_1 – гарантированный зазор для установки заготовки под эксцентриком ($S_1 = 0,3 \ldots 0,4$ мм); S_2 – зазор, учитывающий износ эксцентрика ($S_2 = 0,4 \ldots 0,6$ мм); J_I – жесткость зажимного устройства приспособления.

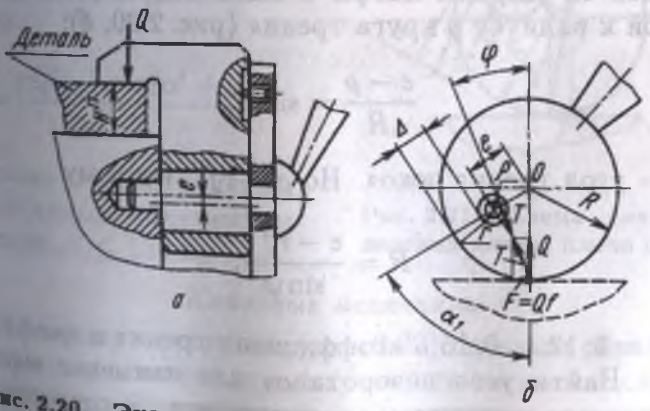


Рис. 2.20. Эксцентриковый механизм закрепления (*а*) и расчетная схема (*б*)

Последовательность расчета.

1. Определить эксцентриситет:

$$e = \frac{IT}{2} + \frac{Q}{2J_I} + (0,35 \ldots 0,5).$$

При заданном угле поворота эксцентрика α

$$e = \frac{S_1 + IT + Q/J_I}{1 - \cos\alpha}.$$

2. Вычислить радиус цапфы r (из условия смятия):

$$r = \frac{Q}{2b[\sigma]_{см}}.$$

При $b \cong 2r$

$$r = \sqrt{\frac{Q}{4[\sigma]_{см}}},$$

где $[\sigma]_{см}$ – допускаемое напряжение на смятие.

3. Определить радиус R наружной поверхности эксцентрика (из условия самоторможения). Равнодействующая T от действия сил Q и F должна быть уравновешена реакцией со стороны цапфы и быть направлена по касательной к радиусу ρ круга трения (рис. 2.20, *б*):

$$\frac{e - \rho}{R} = \sin\varphi,$$

где φ – угол трения покоя. Но $\rho = rf'$, поэтому

$$R = \frac{e - rf'}{\sin\varphi},$$

где $f' = 0,12 \ldots 0,15$ – коэффициент трения в цапфе.

4. Найти угол поворота α_1 для наименее выгодного положения эксцентрика с учетом его самоторможения: $\alpha_1 = 90^\circ - \varphi$.

5. Вычислить ширину рабочей части B эксцентрика (из условия смятия):

$$B = 0,17\frac{QE}{R[\sigma]^2_{см}},$$

где $E = E_1 = E_2$ – модули упругости материалов эксцентрика и заготовки.

6. Сила (или момент) закрепления на рукоятке. На эксцентрик при закреплении действуют три силы реакции (рис. 2.21): S (в цапфе), T (на заготовке) и N (на рукоятке механизма).

Под действием этих сил рассматриваемая система находится в равновесии, т.е.

$$\sum M_O = 0,$$

$$Nl = Qe\sin\alpha' + $$
$$+ fQ(R + e\cos\alpha') + S\rho.$$

После преобразований имеем

$$N = \frac{eQ[1 + \sin(\alpha' + \varphi)]}{l}.$$

Согласно действующим нормативным документам значение $N \leq 150$ Н.

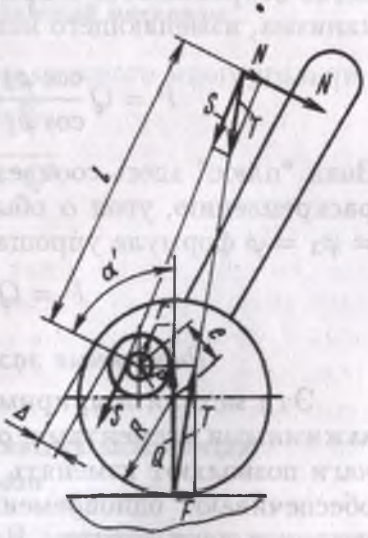


Рис. 2.21. Схема для определения длины плеча рычага

Клиновые механизмы

Клиновые механизмы (рис. 2.22) главным образом используют в качестве промежуточных звеньев в сложных механизмах. Они компактны и просты в изготовлении, позволяют изменять силу закрепления и ее направление,

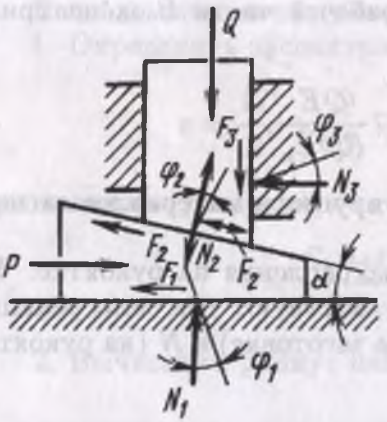


Рис. 2.22. Клиновый механизм

легко встраиваются в приспособления. Для клинового механизма, изменяющего направление силы на 90°,

$$P = Q\frac{\cos\varphi_3 \sin[\alpha \pm (\varphi_1 + \varphi_2)]}{\cos\varphi_1 \cos[\alpha \pm (\varphi_2 + \varphi_3)]}.$$

Знак "плюс" здесь соответствует закреплению, "минус" – раскреплению, угол α обычно равен 15°. При $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ формула упрощается:

$$P = Q\,\mathrm{tg}\,(\alpha \pm 2\varphi).$$

Рычажные зажимные устройства

Эти механизмы, применяемые в сочетании с другими зажимными элементами, образуют сложные системы. Рычаги позволяют изменять силу и ее направление, а также обеспечивают одновременное и равномерное закрепление детали в двух местах. Наибольшее распространение получили двухплечие рычаги (рис. 2.23, *а*).

Для определения силы N исходными данными являются: Q; l_1; l_2; l_1' и l_2'. Соотношение между силами N и Q можно найти, приравняв к нулю сумму моментов относительно оси вращения O с учетом коэффициентов трения f_1 и f_2, т.е. $\sum M_O = 0$. Тогда

$$l_1 N = N f_1 l_1' + S\rho + Q l_2 + Q l_2' f_2.$$

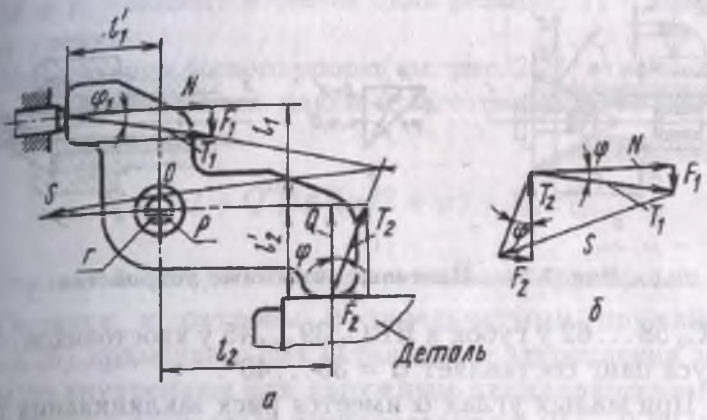


Рис. 2.23. Угловой рычажный механизм

Силу S можно определить из силового многоугольника, представленного на рис. 2.23, *б*:

$$S \cong \sqrt{N^2 + Q^2}.$$

Радиус круга трения

$$\rho = f'r,$$

где $f' = 0,18 \ldots 0,2$.

2.3.5. Расчет центрирующих зажимных механизмов

К центрирующим зажимным механизмам относятся цанги, разжимные оправки, гидропластовые оправки, мембранные патроны и др. Они осуществляют установку и закрепление тел вращения (наружных и внутренних).

Цанги

Цанги представляют собой пружинящие гильзы, различные типы которых представлены на рис. 2.24. Их изготавливают из легированных сталей с высоким содержанием углерода, термообработанных до твердости

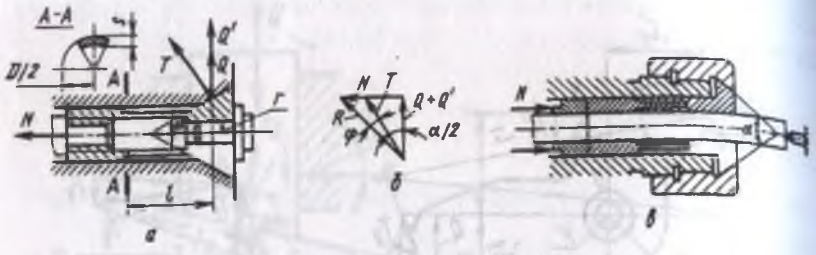


Рис. 2.24. Цанговые зажимные устройства

$HRC_э$ 58 ... 62 у губок и $HRC_э$ 39 ... 45 у хвостовиков. Угол конуса цанг составляет $\alpha = 30 \ldots 40°$.

При малых углах α имеется риск заклинивания цанг; в этом случае они должны быть снабжены специальным выталкивателем. Угол конуса сжимающей втулки делают на один градус больше или меньше угла конуса цанги.

Сила затяжки цанг при отсутствии упора (см. рис. 2.24, *а, б*) равна

$$N = (Q + Q')\,\mathrm{tg}\,(\alpha/2 + \varphi),$$

где Q – сила закрепления заготовки; Q' – сила сжатия лепестков цанги для выбора зазора Δ между цангой и заготовкой; φ – угол трения между цангой и втулкой.

Силу Q' можно определить, если рассмотреть лепесток цанги как консольную балку. Так, для трех- и четырехлепестковой цанги соответственно имеем

$$Q' = 6 \cdot 10^3 \frac{\Delta S D^3}{l^3}; \quad Q' = 2 \cdot 10^2 \frac{\Delta S D^3}{l^3}.$$

Здесь S – толщина стенки лепестка, мм; D – наружный диаметр лепестка в сечении $A - A$, мм (см. рис. 2.24, *а*); l – длина плеча, на котором приложена сила Q.

Сила закрепления заготовки с учетом коэффициента запаса равна

$$Q = k \sqrt{\frac{(M/r)^2 + P^2}{f_1}},$$

где M и P – момент и осевая сила резания; f_1 – коэффициент трения.

При наличии осевого упора (см. рис. 2.24, *в*) возникает трение между губками цанги и заготовкой (угол трения φ_1). В этом случае

$$N = (Q + Q')\,\mathrm{tg}\,[(\alpha/2 + \varphi) + \mathrm{tg}\,\varphi_1].$$

Оправки и патроны с тарельчатыми пружинами

Оправки и патроны с тарельчатыми пружинами (рис. 2.25) применяют для установки и закрепления заготовок по внутренним или наружным цилиндрическим поверхностям с точностью центрирования 0,01 ... 0,02 мм.

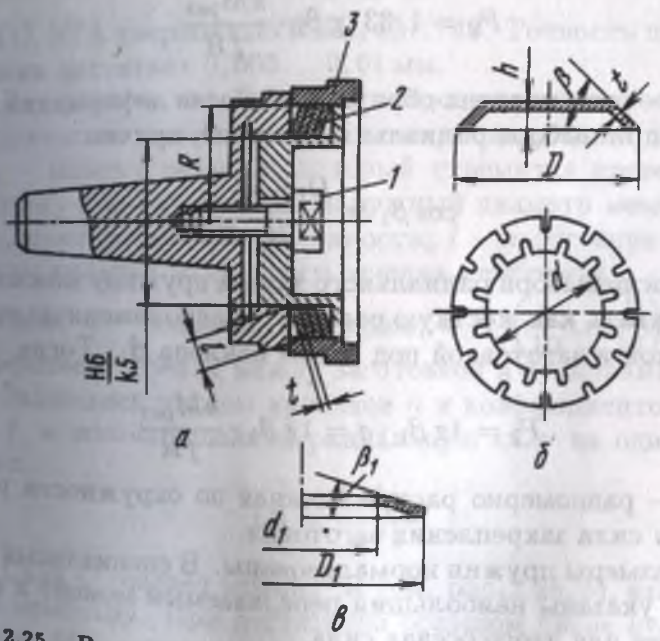


Рис. 2.25. Разжимная оправка с тарельчатыми пружинами (*а*), тарельчатая пружина в свободном состоянии (*б*) и после выбора зазора (*в*)

Осевые силы, которые возникают при затяжке винта *1* (см. рис. 2.25, *а*), способствуют частичному распрямлению

пружины *2* толщиной t и приращению их наружного диаметра в пределах $0,1 \ldots 0,4$ мм для закрепления заготовки *3*. Пружины выполняют из стали 60С2А и термообрабатывают до твердости $HRC_э\,40 \ldots 45$.

Значение осевой силы вычисляют по формуле

$$P_\Sigma = P_1 + P_2,$$

где P_1 – сила, необходимая для выбора радиального зазора; P_2 – сила, которая обеспечивает передачу необходимого момента резания $M_{рез}$.

Для пружин с радиальными прорезами определение P_1 достаточно сложно, поэтому приближенно считают

$$P_\Sigma = 1,33 \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \frac{kM_{рез}}{fR},$$

где β_1 – угол наклона образующей после деформации пружины при выборе радиальных зазоров, причем

$$\cos \beta_1 = \frac{D_1 - d_1}{2l}.$$

После выбора радиального зазора пружину можно рассматривать как жесткую распорку, расположенную между оправкой и заготовкой под углом наклона β_1. Тогда

$$P_2 = \operatorname{tg} \beta_1 \cdot q = \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \frac{kM_{рез}}{fR},$$

где q – равномерно распределенная по окружности радиальная сила закрепления заготовки.

Размеры пружин нормализованы. В специальных таблицах указаны наибольший передаваемый момент и необходимая для этого осевая сила.

Мембранные патроны

Мембранные патроны применяют для точного центрирования заготовок на финишных операциях обработки (рис. 2.26). Мембраны изготавливают из сталей 65Г,

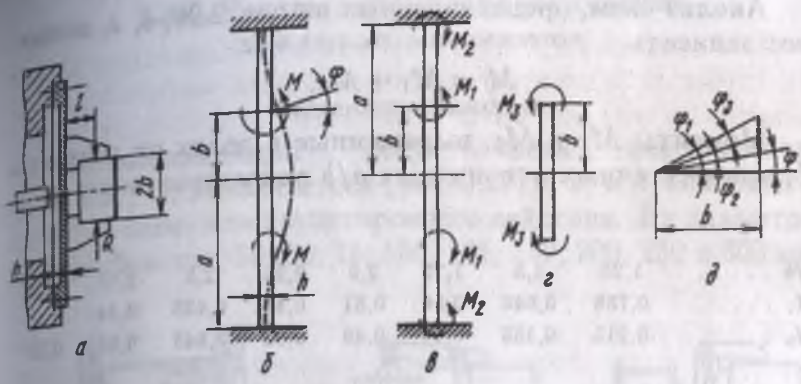


Рис. 2.26. Мембранный патрон (*а*) и схемы к расчету мембраны (*б* – *д*)

30ХГС, У7А твердостью $HRC_э\,40\ldots48$. Точность центрирования достигает $0,005\ldots0,01$ мм.

Для расчета мембранного патрона при установке цилиндрических заготовок необходимы следующие данные: $M_{рез}$ – момент резания, который стремится провернуть заготовку в кулачках; $2a$ – наружный диаметр мембраны; $2b$ – диаметр базовой поверхности; l – расстояние от середины кулачка до среднего сечения мембраны; n – число кулачков; h – толщина мембраны, $h = \left(\frac{1}{10}\ldots\frac{1}{15}\right)a$; f – коэффициент трения между заготовкой и кулачками.

Задавшись числом кулачков n и коэффициентом трения f, можно определить радиальную силу на одном кулачке:

$$Q_1 = \frac{kM_{рез}}{nfb}.$$

Сила Q создает момент M (см. рис. 2.26, *б*), изгибающий мембрану. При достаточно большом числе кулачков момент M можно рассматривать равномерно распределенным по окружности радиусом b:

$$M = \frac{Q_1 nl}{2\pi b}.$$

Анализ схем, представленных на рис. 2.26, *в*, *г*, позволяет записать

$$M = M_1 + M_3.$$

Моменты M_1 и M_3, выраженные в долях от момента M, при различных отношениях a/b приведены ниже:

a/b	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
M_1	0,785	0,645	0,56	0,51	0,48	0,455	0,44	0,42
M_3	0,215	0,355	0,44	0,49	0,52	0,545	0,56	0,58

Задаваясь размером a, определяют отношение a/b и момент M_3. Угол разжима кулачков в радианах (см. рис. 2.26, *д*) при установке минимальной заготовки находят по формуле

$$\varphi = \frac{M_3 b}{J_D(1+\mu)},$$

где $J_D = \dfrac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость мембраны.

Наибольший угол раскрытия кулачков

$$\varphi' = \varphi + \varphi_1 + \varphi_2 \cong \varphi + \frac{IT}{2l} + \frac{\Delta_{\text{гар}}}{2l},$$

где φ_1 – дополнительный угол раскрытия кулачков, учитывающий допуск на диаметр заготовки; φ_2 – угол раскрытия, учитывающий радиальный гарантированный зазор при установке заготовки; $\Delta_{\text{гар}} = 0,0008b + 0,02$.

Силу на штоке для разжима мембраны на угол φ' определяют по формуле

$$P = \frac{4\pi J_D \varphi'}{2,3 \lg (a/b)}.$$

2.3.6. Расчет пневмогидравлических зажимных механизмов

Пневмоцилиндры

Пневмоцилиндры могут быть неподвижного (рис. 2.27, *а*), качающегося (рис. 2.27, *б*, *в*) и вращающегося типов одно- или двухстороннего действия. Их диаметры нормализованы: 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250 и 300 мм.

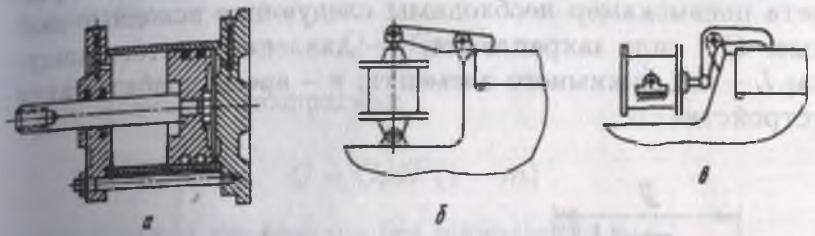


Рис. 2.27. Неподвижный (*а*) и качающиеся (*б*, *в*) пневмоцилиндры

Сила на штоке пневмоцилиндра

$$Q = \frac{\pi D^2 p \eta}{4},$$

откуда диаметр цилиндра

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta}},$$

где p – давление воздуха, $p = 0,4 \ldots 0,6$ МПа; η – КПД, учитывающий потери на трение в цилиндре. Значение η существенно зависит от диаметра D (рис. 2.28).

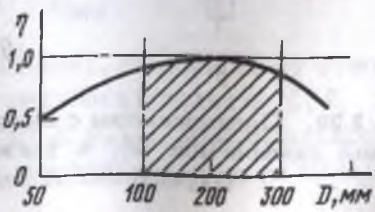


Рис. 2.28. Зависимость КПД пневмоцилиндра от диаметра поршня

Пневмокамеры

Пневмокамеры состоят из двух штампованных чашек *1* и *3* (рис. 2.29, *а* – *в*), между которыми находится резинотканевая диафрагма *2*, толщиной 4 ... 10 мм. При подаче сжатого воздуха мембрана давит на шток *4* через промежуточную шайбу, перемещая их вниз и создавая тем самым необходимую силу закрепления. Обратное движение поршня осуществляется с помощью пружины *5*. Срок службы пневмокамер равен примерно 10^6 циклов. Для расчета пневмокамер необходимы следующие исходные данные: Q – сила закрепления; p – давление сжатого воздуха; L – ход зажимного элемента; τ – время срабатывания устройства.

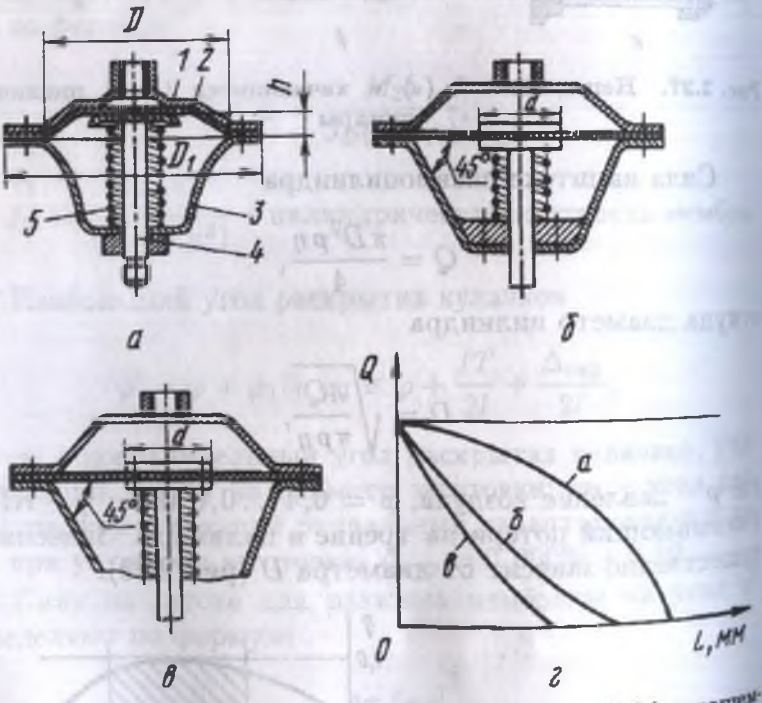


Рис. 2.29. Пневмокамеры с выпуклой (*а*), плоской (*б*) и защемленной диафрагмой (*в*), а также зависимость для них силы закрепления от хода толкателя (*г*)

При проектировании определяют диаметр диафрагмы D (по силе закрепления Q), толщину диафрагмы S и максимальный ход штока L. Сила Q на штоке постоянно изменяется, и в конце его хода $Q \approx 0$ (рис. 2.29, *г*), так как давление сжатого воздуха уравновешивается упругим растяжением диафрагмы. Результаты исследования пневмокамер показывают, что сила Q на штоке максимальна в момент подачи сжатого воздуха в камеру. Для промежуточных положений штока ее определяют по следующим формулам:

$$Q = CpD^2$$

– для выпуклой диафрагмы;

$$Q = CpD^2(1 - m)$$

– для плоской диафрагмы без защемления и

$$Q = \frac{pD^2(k_1 + k_2\pi/a^2)}{4k_2}(1 - m)$$

– для защемленной диафрагмы.

Толщину плоской диафрагмы рассчитывают из условия ее прочности:

$$S = \frac{D}{4}\sqrt{\frac{3p}{\sigma_{\max}}}.$$

В случае применения пневмокамер с защемленной диафрагмой

$$S = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{p(k_3 + k_4\pi/a^2)}{\sigma_{\max}}}.$$

В этих формулах C – коэффициент, зависящий от отношения $D/d = a$; m – перемещение штока в долях от L; $k_1 \ldots k_4$ – коэффициенты, зависящие от a; $\sigma_{\max}$ – максимальное напряжение в тканевой основе диафрагмы, $\sigma_{\max} = 40$ МПа.

Ход штока при плоской диафрагме определяют по формуле

$$L \cong 1,7 \cdot 10^{-5} \frac{pD^4}{ES^3},$$

где E – модуль упругости материала мембраны, $E = 600$ МПа.

В случае выпуклой диафрагмы

$$L = 2h.$$

Гидроцилиндры

Гидроцилиндры имеют много общего в конструкции с пневмоцилиндрами, но в качестве рабочей жидкости в них используется масло под давлением $p \geq 6$ МПа. Преимущества гидроцилиндров: малые габариты (вследствие большого давления), бесшумность, большая развиваемая сила Q, точное регулирование скорости перемещения поршня. К их недостаткам относят необходимость гидросистемы (насос, трубы и т.п.), возможные утечки масла и связанные с этим загрязнения.

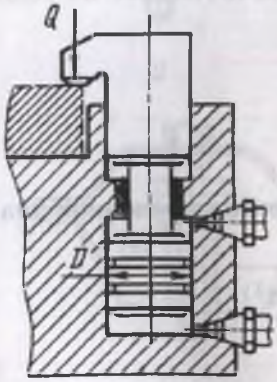


Рис. 2.30. Прихват с гидроцилиндром двухстороннего действия

Гидроцилиндры выполняют одно- или двухстороннего действия (рис. 2.30). Диаметр зеркала цилиндра нормализован (40, 50, 60, 75 и 100 мм). Последовательность расчета гидроцилиндра следующая. Принимают давление масла в гидросистеме (p) и определяют площадь и диаметр поршня:

$$F = \frac{Q}{p}; \quad D = \sqrt{\frac{4Q}{p\pi}}.$$

Для выбора насоса вычисляют его секундную производительность Θ и мощность привода N по формулам

$$\Theta = \frac{Q}{p}\,\frac{L}{\tau\eta_1}; \quad N = \frac{QL}{\tau\eta_1\eta_2},$$

где L – ход штока; η_1 – объемный КПД насоса; η_2 – механический КПД системы. Гидравлическая система может работать от шестеренчатого, лопастного или плунжерного насосов.

Пневмогидравлические зажимные устройства

Для питания этих механизмов используют сжатый воздух ($p_1 = 0,4 \ldots 0,6$ МПа) и масло под давлением $0,7 \ldots 10$ МПа. Основное их преимущество состоит в отсутствии гидронасосов при малом диаметре рабочего цилиндра.

Сжатый воздух подается в цилиндр *1* диаметром d_1 (рис. 2.31). Шток этого цилиндра, диаметр которого d_2, служит плунжером гидроцилиндра *2*. Масло, выдавливаемое этим плунжером, через трубопровод *3* поступает во второй гидроцилиндр *4* диаметром d_3. Толкатель поршня гидроцилиндра *4* связан с механизмом закрепления (или является им). Чтобы вернуть систему в исходное положение, необходимо осуществить небольшое обратное движение поршня, что достигается с помощью пружин *5* и *6*. Бак *7* снабжает систему маслом. В пневмогидравлических системах масло меньше нагревается и вспенивается, они имеют высокий КПД, просты и дешевы в изготовлении.

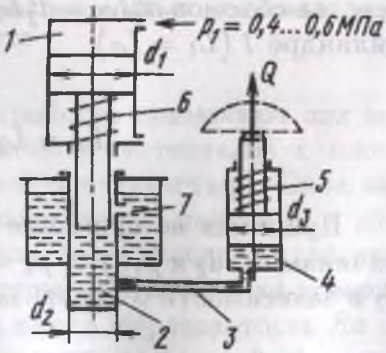


Рис. 2.31. Схема пневмогидравлического зажимного устройства

Исходные данные для расчета пневмогидравлических устройств: сила закрепления Q, давление воздуха p_1, диаметр рабочего цилиндра d_3, ход штока L_3 гидроцилиндра *4*.

Пренебрегая потерями, давление масла в гидроцилиндрах *2* и *4* (см. рис. 2.31) равно

$$p_3 = p_2 = p_1 d_1^2 / d_2^2.$$

Сила закрепления на штоке гидроцилиндра *4*

$$Q = p_2 \frac{\pi d_3^2}{4} \eta_\Sigma = p_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} \frac{\pi d_3^2}{4} \eta_\Sigma,$$

где $\eta_\Sigma = \eta_1 \eta_2 \eta_3$ – общий КПД трех цилиндров (обычно $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 0,9$). Тогда

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{1,33}{d_3} \sqrt{\frac{Q}{p_1}}.$$

При заданной величине L_3 (без учета утечек) из равенства объемов $d_3^2 L_3 = d_2^2 L_2$ определяют ход поршня L_1 в цилиндре *1* ($L_1 = L_2$):

$$L_1 = L_2 = \frac{d_3^2}{d_2^2} L_3.$$

Принимая во внимание коэффициент усиления по величинам d_1, d_2 и p_1, т.е. $p_2 = p_1 d_1 / d_2^2$, вычисляют диаметр d_3 в зависимости от силы закрепления Q:

$$d_3 = 1,33 \frac{d_2}{d_1} \sqrt{\frac{Q}{p_1}}.$$

В этих системах закрепление заготовки осуществляется под действием атмосферного давления. Основные схемы таких устройств приведены на рис. 2.32.

Сила закрепления заготовки

$$Q = 10^{-4} F(0,1 - p),$$

где F – полезная площадь заготовки, ограниченная уплотнением; p – давление в полости, создаваемое системой отсоса воздуха. Как правило, $p = 0,01 \ldots 0,015$ МПа. Создание более глубокого вакуума нецелесообразно, так как сила закрепления увеличивается незначительно.

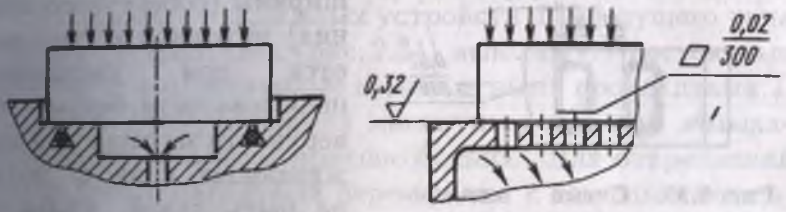


Рис. 2.32. Принципиальные схемы вакуумных зажимных устройств

Вакуумные зажимные устройства применяют для закрепления заготовок из различных материалов с плоской или криволинейной базовой поверхностью. Сила закрепления достаточна для выполнения чистовой и отделочной обработок. В случае значительных сдвигающих сил часто используют опоры. Установочная поверхность приспособления должна иметь шероховатость $Ra = 0,63 \ldots 0,32$ мкм и плоскостность не более 0,02 мм на длине 300 мм.

Открепление заготовок осуществляют путем сообщения внутренней полости с окружающей средой.

2.3.7. Расчет электромагнитных зажимных устройств

Электромагнитные зажимные устройства выполняют в виде плит или круговых планшайб, позволяющих закреплять заготовки из чугуна и стали, базовые поверхности которых – плоскости. На рис. 2.33 представлена схема электромагнитного стола, в корпусе *1* которого находятся электромагниты *3*. Заготовку устанавливают сверху на плиту *2*, в которой имеются пазы со слоем изоляции *4* из немагнитного материала (латунь). Сила закрепления возрастает при увеличении толщины и ширины (поперечного сечения) заготовки и уменьшается при увеличении шероховатости базовой поверхности заготовки. Удерживающая сила Q должна быть такой, чтобы не произошел сдвиг заготовки под действием силы резания P, т.е.

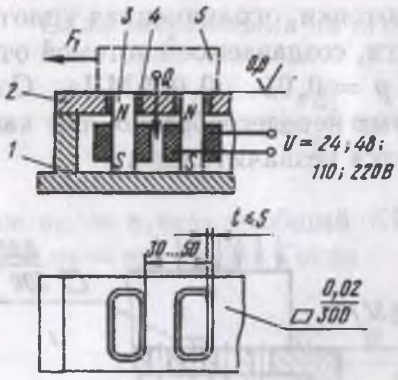


Рис. 2.33. Схема электромагнитного стола

$$kP = Qf + F_1,$$

где k – коэффициент запаса; f – коэффициент трения, $f = 0,16 \ldots 0,18$; F_1 – магнитная сила, препятствующая смещению заготовки относительно полюсов электромагнита, $F_1 = aQ = (0,05 \ldots 0,08)Q$. Тогда

$$Q = \frac{kP}{f + a}.$$

Расчет носит поверочный характер для сравнения найденного значения силы Q со значением силы $Q_{\text{з}}$,

развиваемой существующим электромагнитным столом:

$$Q \le Q_{\text{п}}.$$

Большим недостатком электромагнитных приспособлений является то, что обработанные детали приобретают остаточные магнитные свойства. Для размагничивания деталей используют переменное магнитное поле. Плотность магнитного потока уменьшают от максимального значения до нуля, а детали пропускают через специальный соленоид, питаемый переменным током (50 Гц), где они выполняют роль якоря электромагнита.

2.3.8. Расчет магнитных зажимных устройств

В отличие от зажимных устройств предыдущего типа в данных устройствах (рис. 2.34) используют постоянные магниты *2*, изолированные немагнитными прокладками *4*. Заготовки *1* удерживаются магнитным потоком, замыкаемым через элементы приспособления. Для открепления детали блок с магнитами перемещают с помощью эксцентрикового устройства *3* вдоль установочной плиты. Магнитный поток замыкается через корпус и плиту, минуя заготовку. Зазоры между магнитным блоком и корпусом приспособления, с одной стороны, и плитой – с другой стороны, должны быть минимально возможными. Они соответствуют обычно посадке H7/f6.

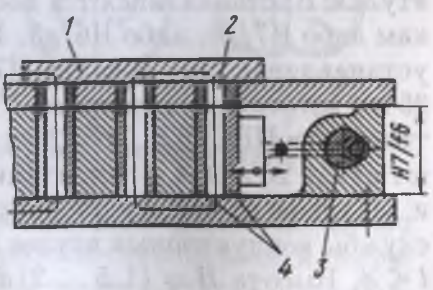


Рис. 2.34. Схема приспособления с постоянными магнитами

Удельная сила постоянных магнитов достигает значений $P_{\text{уд}} = 0,35 \ldots 1,0$ МПа. Значение удерживающей силы

приспособления с постоянными магнитами определяют по формуле

$$Q = P_{\text{уд}} F_{\text{заг}} \lambda,$$

где $F_{\text{заг}}$ – площадь контакта заготовки с приспособлением, мм^2; λ – коэффициент, учитывающий потери из-за неплотности прилегания заготовки.

Приспособления с постоянными магнитами применяют только при отделочных методах обработки и контроле.

2.4. НАПРАВЛЯЮЩИЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Для направления мерного инструмента (сверла, зенкера, развертки и борштанги) на станках сверлильно-расточной группы применяют кондукторные втулки. Они позволяют повысить точность диаметральных размеров, формы и особенно точность расположения отверстий. Кондукторные втулки бывают постоянные без бурта (рис. 2.35, *а*) и с буртом (рис. 2.35, *б*) для работы одним инструментом. Сменные кондукторные втулки (рис. 2.35, *в*, *г*) применяют при обработке отверстий несколькими последовательно сменяемыми инструментами. Сменные втулки *1* устанавливают в постоянные втулки *2* по посадкам либо H7/g6, либо H6/g5. В корпус постоянные втулки устанавливают по посадке H7/n6. Втулки диаметром до 25 мм изготовляют из стали У10А или У12А с закалкой до твердости $\text{HRC}_\text{э}\,62\ldots65$. Для втулок с $d > 25$ мм применяют сталь 20 и 20Х с цементацией на глубину $0,8\ldots1,2$ мм и закалкой до той же твердости. Ориентировочный срок службы кондукторных втулок $(1\ldots1,5)\cdot10^4$ сверлений при $l \le d$. Высота $H = (1,5\ldots2)\,d$.

Для уменьшения изнашивания втулок между ее нижним торцем и поверхностью заготовки предусматривают зазор e (см. рис. 2.35, *а*) для отвода стружки. При сверлении чугуна $e = (0,3\ldots0,5)\,d$, при сверлении стали и других вязких материалов зазор увеличивают до $e = d$.

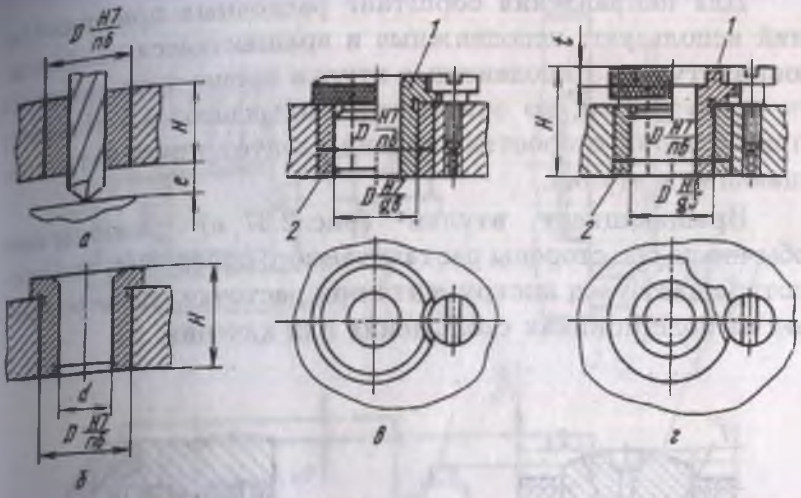


Рис. 2.35. **Постоянные (*а*, *б*) и сменные (*в*, *г*) кондукторные втулки**

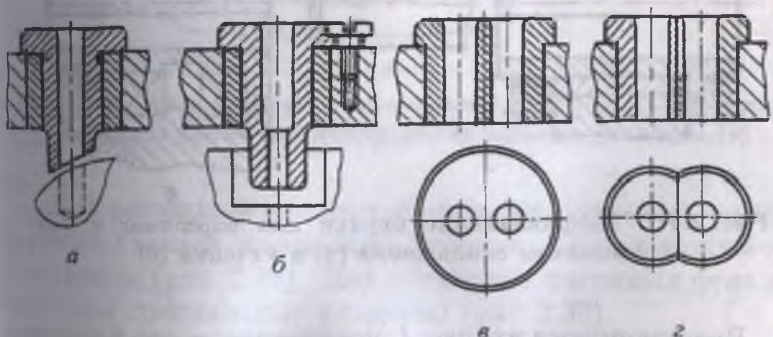
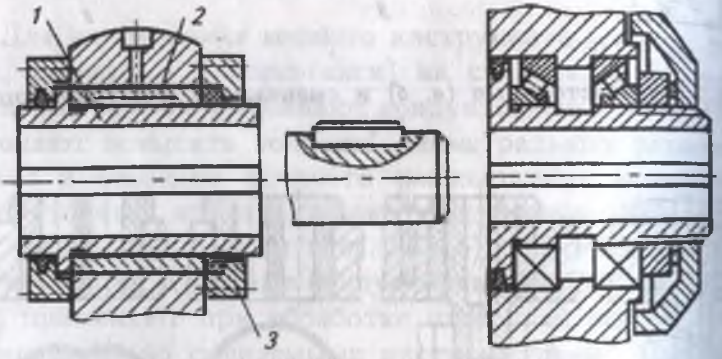


Рис. 2.36. **Специальные кондукторные втулки**

Специальные кондукторные втулки (рис. 2.36) имеют конструкции, отвечающие особенностям детали и операции. Так, на рис. 2.36, *а* представлена втулка для обработки отверстия в криволинейной поверхности. Удлиненная быстросменная втулка (рис. 2.36, *б*) служит для направления оси отверстия, расположенного в углублении. При малом расстоянии между осями применяют конструкции, представленные на рис. 2.36, *в* и *г*.

Для направления борштанг расточных приспособлений используют неподвижные и вращающиеся направляющие втулки. Неподвижные втулки проще вращающихся по конструкции, но они быстрее нагреваются. Поэтому при больших скоростях резания следует применять вращающиеся втулки.

Вращающиеся втулки (рис. 2.37, *а*) располагают обычно по обе стороны растачиваемого отверстия; это предотвращает увод инструмента при расточке. Их монтируют на подшипниках скольжения или качения.



а *б*

Рис. 2.37. Направляющие втулки для борштанг с подшипником скольжения (*а*) и качения (*б*)

Вращающуюся втулку *1*, устанавливаемую в подшипник скольжения, изготовляют из чугуна или бронзы, а постоянную втулку *2* – из стали 20 или 20Х с цементацией и закалкой до твердости $HRC_э$ 56 ... 62. Втулка удерживается от осевого перемещения в одну сторону буртом, а в другую – крышкой *3*. На рис. 2.37, *б* показана вращающаяся втулка, смонтированная на роликовых подшипниках.

Вращающиеся втулки, смонтированные в игольчатых подшипниках, более точны (радиальный зазор ≤ 15 мкм) и допускают обработку на высоких скоростях резания.

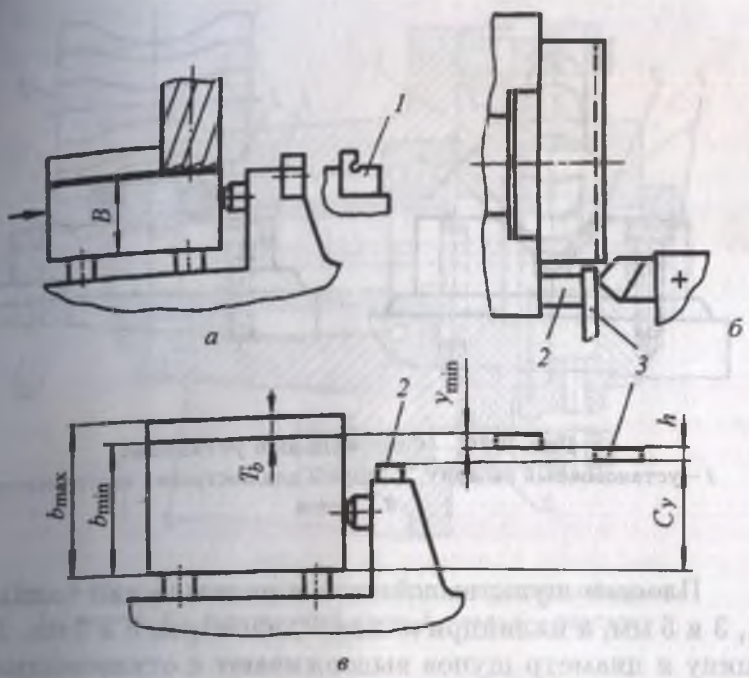


Рис. 2.38. Угловые (*а*) и высотные (*б*) установы, а также расчетная схема для определения размера установа (*в*)

Для размерной наладки фрезерных, токарных и строгальных станков применяют угловые *1* или высотные *2*, *3* установы (рис. 2.38). Для установки фасонных фрез используют специальные установы (рис. 2.39).

Инструменты устанавливают по щупам, помещаемым между режущим лезвием инструмента и установочной плоскостью установа. При настройке по щупу (рис. 2.38, *в*) размер установа C_y определяют из геометрических связей:

$$C_y = b_{min} - y_{min} - h,$$

где b_{min} – наименьший выполняемый размер, мм; y_{min} – наименьшее упругое отжатие технологической системы; h – толщина щупа, мм.

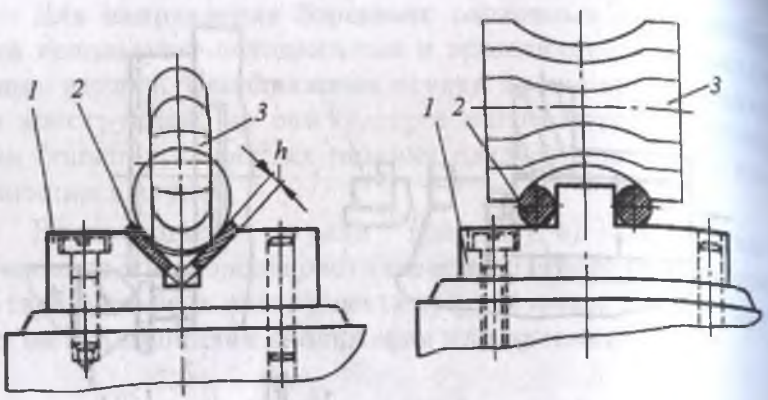


Рис. 2.39. Специальные установы:
1 – установочный габарит; *2* – щупы для настройки инструментов; *3* – фреза

Плоские щупы выполняют в виде пластин толщиной 1, 3 и 5 мм, а цилиндрические – диаметром 3 и 5 мм. Толщину и диаметр щупов выдерживают с отклонениями по посадке h6.

Щупы закаливают до твердости $HRC_э$ 56 ... 62 и шлифуют до $Ra = 0,63$ мкм. Установы выполняют из сталей 15 или 20, стали 20Х с цементацией на глубину 0,8 ... 1,2 мм и закалкой до твердости $HRC_э$ 55 ... 60.

К вспомогательным относят делительные устройства (рис. 2.40), применяемые в поворотных частях приспособления для установки заготовки в различные положения; выталкиватели для удаления заготовок (рис. 2.41); прижимные устройства для плотного прижатия поворотной части к неподвижному основанию (рис. 2.42) и некоторые другие.

Основными элементами делительного устройства являются делительный диск *2* (см. рис. 2.40), установленный на валу *3* и фиксатор *4*, расположенный в корпусе *1*. Типовые конструкции фиксаторов приведены на рис. 2.43.

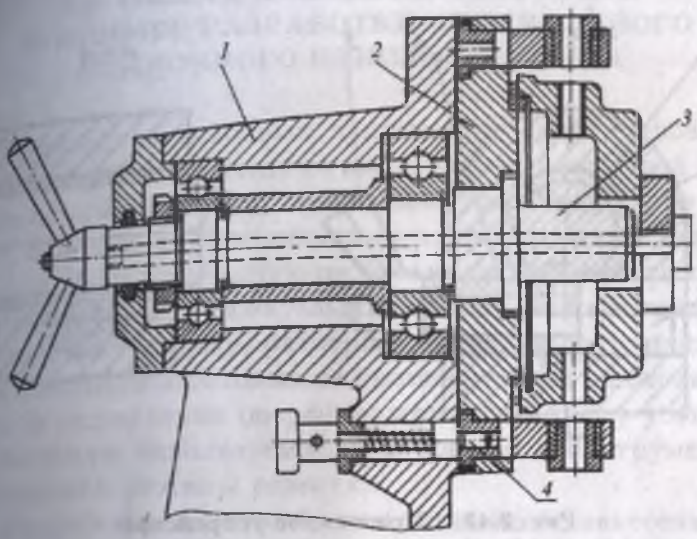


Рис. 2.40. Делительное устройство приспособления:
1 – корпус; *2* – делительный диск; *3* – вал; *4* – фиксатор

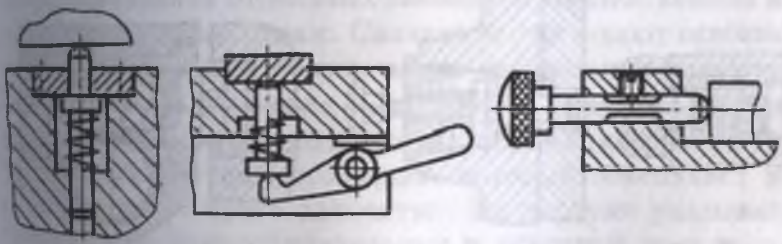


Рис. 2.41. Конструкции выталкивателей

Корпус приспособления объединяет в единое целое его элементы, им воспринимаются усилия, возникающие в процессе обработки, а также усилия закрепления заготовки. Корпус должен быть достаточно прочным и жестким, удобным для установки и снятия заготовок, доступным для очистки от стружки, простым и дешевым в изготовлении. В конструкции корпуса должны быть направляющие элементы (шпонки, центрирующие буртики и т.п.)

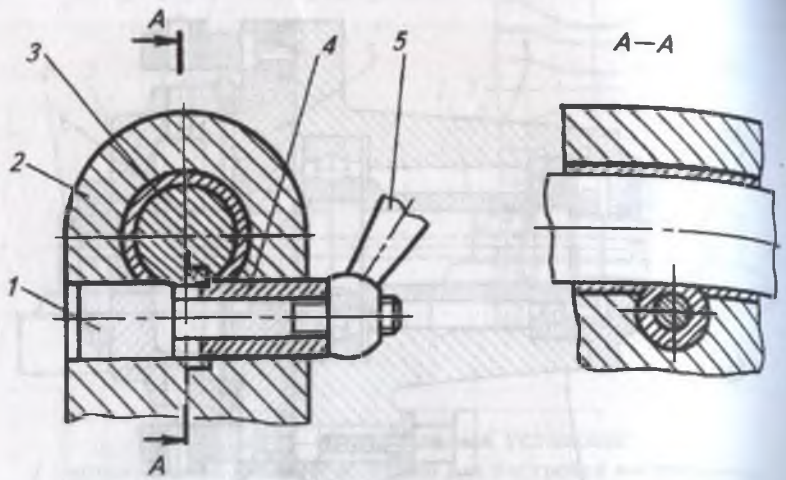


Рис. 2.42. Прижимное устройство:
1 – головка винта; *2* –корпус; *3* – вал поворотной части; *4* – сухарь; *5* – рукоятка

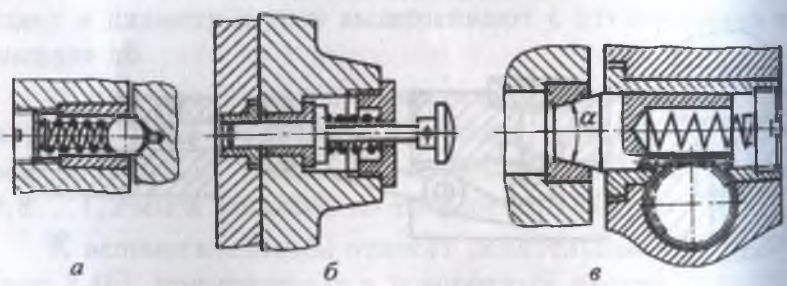


Рис. 2.43. Типовые конструкции фиксаторов:
а – шариковый; *б* – цилиндрический; *в* – конический

для быстрой фиксации приспособления на столе станка. Заготовки корпусов получают отливкой, ковкой и сваркой из отдельных частей. Материалом служит серый чугун СЧ 12 и сталь Ст3. Литые корпуса подвергают старению, а сварные – отжигу.

2.5. ОБЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОГО СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

В качестве исходных данных для конструирования приспособлений необходимо иметь чертежи исходной заготовки и готовой детали, технические требования на ее приемку, а также ТП изготовления данной детали. Последний содержит следующую необходимую для конструктора информацию: последовательность выполнения и содержание операций; форму, размеры и сведения по точности и шероховатости изготовления промежуточной заготовки до и после выполнения операции; принятую схему установки заготовки; используемое оборудование и инструменты; назначенные режимы резания.

Разработку приспособления начинают с нанесения на лист контуров промежуточной заготовки в том виде, какой она имеет по окончании выполнения операции. Далее разработку конструкции ведут методом последовательного вычерчивания отдельных элементов приспособления вокруг контуров заготовки. Сначала вычерчивают основные и вспомогательные опоры, затем зажимные устройства, детали для направления и настройки режущего инструмента и вспомогательные элементы. В заключении вычерчивают корпус приспособления, который объединяет все перечисленные выше элементы. На чертеже указывают габаритные, присоединительные и основные посадочные размеры.

При назначении технических требований конструктор должен установить допуски на основные размеры приспособления. Здесь можно выделить три группы размеров. К первой группе относятся размеры сопряжений и требования взаимного положения элементов, от точности которых зависит точность выдерживаемых на данной операции параметров. Допуски на размеры этой группы берут в 2...3 раза меньше допусков на размеры, выдерживаемых при обработке. Ко второй группе относятся размеры от-

ветственных для нормальной работы приспособления сопряжений, погрешности которых не влияют на точность обработки (их берут в основном по $IT6 \ldots IT8$). К третьей группе относятся свободные размеры, выполняемые по $IT12 \ldots IT14$.

Рассмотрим пример разработки специального приспособления. Пусть требуется разработать конструкцию станочного приспособления для фрезерования треугольного контура заготовки на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели 6Р11Ф3–1 (рис. 2.44, *а*). Остальные поверхности заготовки обработаны окончательно на предыдущих операциях. Схема установки заготовки и выдерживаемые размеры показаны на рис. 2.44, *б*. Заготовка изготовлена из стали 45. Фреза концевая диаметром 20 мм; материал фрезы 6РМ5; число зубьев $z = 5$; угол наклона зубьев $\omega = 35^{\circ}$. Режимы резания: скорость резания $v = 40$ м/мин; подача $S_z = 0,1$ мм/зуб; глубина резания $t = 5,5$ мм; ширина фрезерования $B = 3$ мм. Приспособление одноместное, однопозиционное; производство – мелкосерийное.

Определим погрешность установки на жесткой оправке при выдерживании размера $13 \pm 0,3$ мм по формуле

$$\varepsilon_{\text{б}} = S_{\max} = T_d + T_{\text{опр}} + T_{\text{и}} + S_{\min},$$

где T_d, $T_{\text{опр}}$ – соответственно допуски на изготовление базового отверстия и оправки приспособления; $T_{\text{и}}$ – допуск на износ оправки. Задавшись точностью изготовления оправки (f6) и приняв $T_{\text{и}} = 0,2T_{\text{опр}}$, имеем

$$\varepsilon_{\text{б}} = 0,021 + 0,013 + 0,003 + 0,02 = 0,057 \text{ мм}.$$

Учитывая, что погрешность базирования составляет десятую часть от допуска на выдерживаемый размер, окончательно принимаем предложенную схему установки (см. рис. 2.44, *б*), для чего используем установочный элемент специальной конструкции (см. рис. 2.44, *в*).

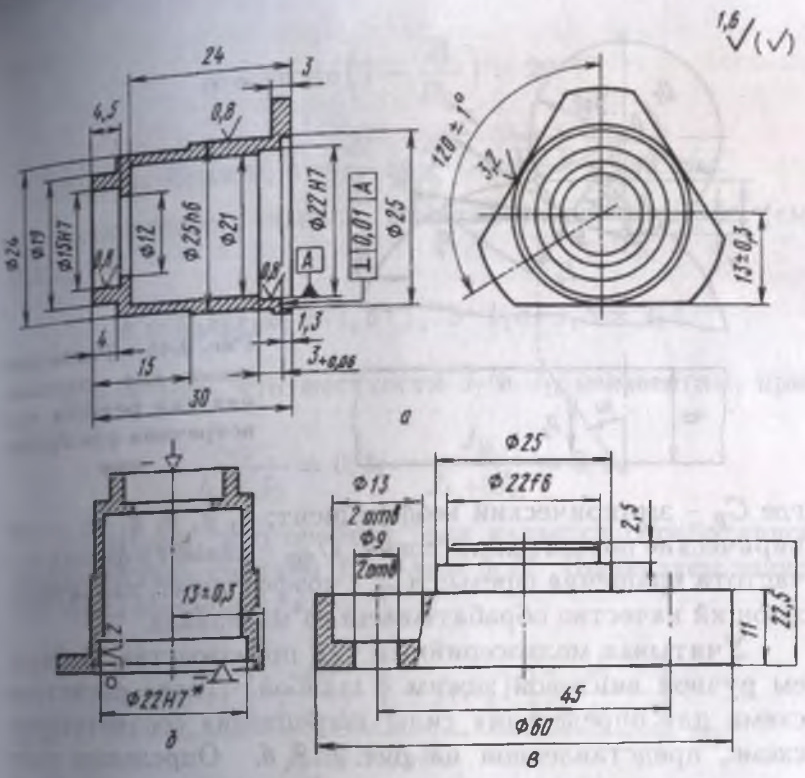


Рис. 2.44. Исходные данные для проектирования приспособления (*а*, *б*) и установочный элемент приспособления (*в*)

Вычислим составляющие силы резания при цилиндрическом фрезеровании* (рис. 2.45):

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S^y B^k z}{D^q_{фр} n^w} K_{мр} =$$

$$= \frac{10 \cdot 68{,}2 \cdot 5{,}5^{0{,}86} \cdot 0{,}1^{0{,}72} \cdot 3^{10} \cdot 5}{20^{0{,}86} \cdot 660^{0}} = 623 \text{ Н};$$

$$P_h = 1{,}2 P_z = 748 \text{ Н}; \quad P_x = 0{,}3 \operatorname{tg} \omega P_z = 108 \text{ Н},$$

* Необходимые для расчета данные можно взять в "Справочнике технолога-машиностроителя" / Под. ред. А.Г. Касиловой, Р.К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.

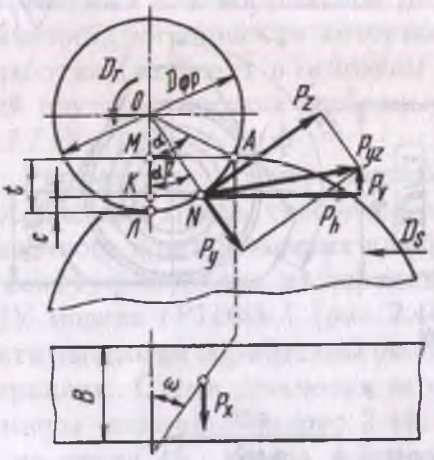


Рис. 2.45. Расчетная схема для определения сил резания при встречном фрезеровании

где C_p – эмпирический коэффициент; x, y, k, q, w, – эмпирические показатели степени; $D_{фр}$ – диаметр фрезы; n – частота вращения фрезы; $K_{мр}$ – коэффициент, характеризующий качество обрабатываемого материала.

Учитывая мелкосерийный тип производства, выбираем ручной винтовой зажим с шайбой. Тогда расчетная схема для определения силы закрепления соответствует схеме, представленной на рис. 2.18, *б*. Определим силу закрепления для этого случая. Внешний момент $M = P_h(l + c)$, где $l = 13$ мм – расстояние от плоскости фрезерования до оси заготовки; c – расстояние от плоскости фрезерования до точки приложения силы (см. рис. 2.45). Осевая сила $P = P_x = 108$ Н. Из рис. 2.45 имеем

$$c = ОЛ - OK; \quad ОЛ = D_Ф/2.$$

Из треугольника OKN находим

$$OK = \frac{D_Ф}{2}\cos(\alpha/2),$$

а из треугольника ONA получаем

$$\sin\alpha = 1 - \frac{2t}{D_Ф},$$

или

$$\alpha = \arcsin\left(1 - \frac{2t}{D_\Phi}\right) = 29,7^\circ.$$

Таким образом, $c = \frac{20}{2} - \frac{20}{2}\cos\frac{29,7}{2} = 0,3$ мм.

Коэффициент запаса вычисляем по формуле (см. 2.3.2)

$$k = k_0 k_2 k_4 k_6 = 1,5 \cdot 1,75 \cdot 1,3 \cdot 1,5 = 2,7.$$

Ввиду того, что жесткости J_I и J_II неизвестны, принимаем

$$\frac{J_\text{I}}{J_\text{I} + J_\text{II}} = 0,3; \quad \frac{J_\text{II}}{J_\text{I} + J_\text{II}} = 0,6.$$

Учитывая, что опорная база является обработанной поверхностью, считаем $f_1 = f_2 = 0,16$. Вычисляем значение силы закрепления:

$$Q = \frac{kM - f_2 R_1 P\left(\frac{J_\text{II}}{J_\text{I} + J_\text{II}}\right) + f_1 R_2 P\left(\frac{J_\text{I}}{J_\text{I} + J_\text{II}}\right)}{f_1 R_2 + f_2 R_1} =$$

$$= \frac{2,7 \cdot 748(13 + 0,3) - 0,16\left(\frac{22+25}{2}\right)108 \cdot 0,6}{0,16\left(\frac{15+19}{2}\right) + 0,16\left(\frac{22+25}{2}\right)} +$$

$$+ \frac{0,16\left(\frac{15+19}{2}\right)108 \cdot 0,3}{0,16\left(\frac{15+19}{2}\right) + 0,16\left(\frac{22+25}{2}\right)} = 4121 \text{ Н}.$$

Уточняем удельное давление на установочный элемент:

$$\frac{Q}{F} = \frac{4121}{\frac{\pi}{4}(2,5^2 - 2,2^2)} = 3700 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2},$$

что существенно меньше допустимого. Приняв $\sigma = 90$ Па, определяем номинальный диаметр резьбы

$$d = c\sqrt{\frac{Q}{\sigma}} = 1,4\sqrt{\frac{4121}{90}} = 9,5 \text{ мм}.$$

Выбираем стандартную резьбу М10×1,5. Средний радиус резьбы $r_{ср} = 9,026$ мм, угол подъема резьбы $\alpha = 3,02°$. Принимая $\varphi = 10,5°$; $f = 0,15$; $D = 1,7d$, определяем момент на рукоятке:

$$M = \frac{9,026}{2} 4121 \operatorname{tg}(3,02° + 10,5°) + \frac{1}{3} 0,15 \cdot 4121 \left(\frac{17^3 - 10^3}{17^2 - 10^2}\right) = 8730 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Обычно во фрезерных приспособлениях применяют установы для размерной наладки инструмента. Однако, учитывая, что в рассматриваемом случае операция выполняется на станке с ЧПУ, наладку можно выполнить совмещением оси вращения шпинделя с базовой поверхностью приспособления путем обкатки последней центроискателем.

Ввиду того, что приспособление имеет ограниченное число элементов, выбираем простейший вариант конструкции корпуса в виде плиты из листового проката. Заготовка при установке не требует углового базирования вокруг вертикальной оси, поэтому в корпусе не следует предусматривать элементы для его ориентирования относительно этой оси. Общий вид приспособления в двух проекциях представлен на рис. 2.46.

Обоснуем основные технические требования: отклонение от перпендикулярности оси поверхности диаметром 22f6 относительно базового торца B и отклонение от параллельности B относительно A.

Первое требование вытекает из условия обеспечения надежного прилегания базового торца заготовки к установочному элементу. Поэтому отклонение от перпендикулярности не должно превысить минимального зазора

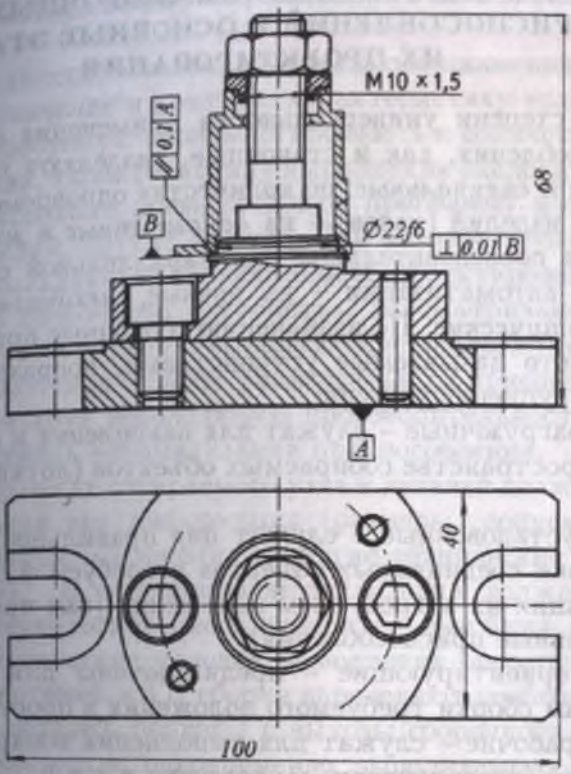


Рис. 2.46. Общий вид приспособления

$S_{min} = 0,02$ мм. Учитывая величину допуска 0,01 мм на отклонение от перпендикулярности базового отверстия диаметром 22H7 заготовки относительно базового торца, окончательно принимаем значение искомого допуска приспособления 0,01 мм.

Второе требование обеспечивает требуемое отклонение от перпендикулярности обрабатываемой поверхности относительно базового торца. Приняв допуск на отклонение от перпендикулярности в пределах половины поля допуска выдерживаемого размера $13 \pm 0,3$, назначим соответствующий допуск приспособления равным 0,1 мм.

2.6. КЛАССИФИКАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

По степени универсальности применения сборочные приспособления, как и станочные, разделяют на *универсальные* и *специальные*; по количеству одновременно собираемых изделий (узлов) – на *одноместные* и *многоместные* для последовательной или параллельной сборки; по уровню автоматизации – на *ручные*, *механизированные*, *автоматические*. По назначению сборочные приспособления, часто называемые устройствами, подразделяют на семь укрупненных групп:

1) загрузочные – служат для накопления и перемещения в пространстве собираемых объектов (лотки, бункеры и др.);

2) установочные – служат для правильной взаимной установки соединяемых объектов с требуемой точностью и фиксации их в требуемом положении (как правило, это специальные приспособления);

3) ориентирующие – предназначены для придания объектам сборки требуемого положения в пространстве;

4) рабочие – служат для выполнения конкретных соединений (развальцовки, запрессовки и т.п.);

5) контрольно-испытательные – служат для проверки соответствия определенных показателей данного объекта требуемым показателям качества (испытательные стенды, устройства для контроля и др.);

6) регулировочно-пригоночные – служат для выполнения регулировочно-пригоночных работ (балансировки, регулировки зазоров и т.п.);

7) комбинированные – соединяют в себе два и более из рассмотренных выше типов приспособлений (вибробункер с встроенным ориентирующим устройством и т.п.).

Рассмотрим основные этапы проектирования сборочных приспособлений.

1. Анализ исходных данных для проектирования. Этот этап начинается с анализа технического задания,

чертежей собираемого узла, входящих в него деталей и ТП сборки.

В техническом задании указывают: наименование изделия, назначение и краткую характеристику условий его работы, требуемую производительность и количество приспособлений, характеристику выполнения аналогичной работы в настоящее время, годовую программу и срок выпуска изделий, другие данные. При анализе технического задания выявляют целесообразность проектирования специального сборочного устройства, рассматривают существующие конструкции, выполняющие аналогичную работу. Предпочтение отдают универсальным приспособлениям. Анализируя необходимую производительность, определяют степень автоматизации приспособления.

На чертежах собираемого узла и деталей должна быть представлена вся информация (размеры, допуски, пространственные отклонения и другие технические условия на сборку). В операционной технологии должны быть указаны технологические и измерительные базы, а также другие технические условия выполнения операции. При анализе чертежей и ТП сборки определяют необходимость фиксации деталей, подходы и выходы сборочного инструмента, количество одновременно выполняемых соединений, способ обеспечения необходимых параметров процесса и точности сборки, удобство эксплуатации приспособления, учитывают возможное влияние предыдущих сборочных переходов и особенности выполнения последующих. На основе этого анализа выбирают вид установочных элементов, схему их расположения и способы фиксации собираемых деталей при выполнении соединения.

2. Разработка принципиальной (кинематической) схемы. На этом этапе определяют общую компоновку исполнительного механизма, его основные элементы, условия эксплуатации; подбирают вид привода. Здесь же устанавливают жесткость будущей конструкции.

3. Определение усилий, действующих на проектируемую конструкцию. По принципиальной схеме исполни-

тельного механизма составляют схему действия сил и расчетным путем определяют нагруженность различных узлов конструкции.

4. Разработка эскизного проекта. На этом этапе прикидывают предварительно габаритные размеры всех деталей конструкции. Путем расчета на прочность определяют предельные размеры наиболее нагруженных деталей. Решают вопросы соединения и сопряжения деталей и узлов, их внешний вид и расположение.

5. Технико-экономическое обоснование разрабатываемой конструкции. Этот этап особенно важен при проектировании средств механизированной и автоматической сборки.

6. Разработка технического проекта. Здесь окончательно формируют проектируемую конструкцию с учетом эргономических и эстетических принципов. В соответствии с требованиями стандартов оформляют чертежи общего вида конструкции с указанием габаритных, монтажных, посадочных, присоединительных размеров, их точности, а также технической характеристики и технических условий на изготовление (точность сборки, требование к регулировке и отладке, методы проверки сопряжений, отделка, маркировка).

7. Составление рабочей документации. Этот этап включает деталировку сборочного чертежа, составление ведомостей комплектующих и пояснительной записки.

2.7. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Рассмотрим особенности проектирования отдельных сборочных механизмов.

2.7.1. Загрузочные устройства

Загрузочные устройства выполняют обычно в виде самостоятельного узла, предназначенного для накопления и

подачи деталей в зону сборки с требуемой частотой. Их конструкция в основном зависит от массы и конфигурации собираемых деталей, степени автоматизации процесса загрузки.

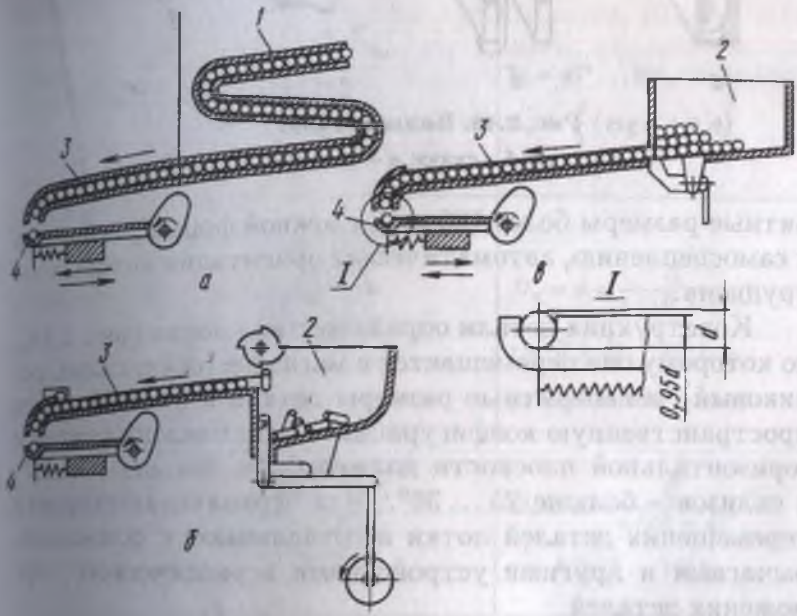


Рис. 2.47. Схемы загрузочных устройств:

1 – магазин; *2* – бункер; *3* – накопитель; *4* – питатель

По способу сосредоточения штучных деталей загрузочные устройства подразделяют на магазинные (рис. 2.47, *а*), где детали располагают сориентированными в один ряд и подают в зону сборки посредством гравитационных или других сил; бункерные (рис. 2.47, *б*), куда детали загружают навалом и принудительно подают в зону сборки в ориентированном положении, и комбинированные (рис. 2.47, *в*), где детали часто располагают предварительно сориентированными в штабеле.

Магазинные загрузочные устройства применяют чаще всего для крупных деталей (масса более 0,5 кг, габа-

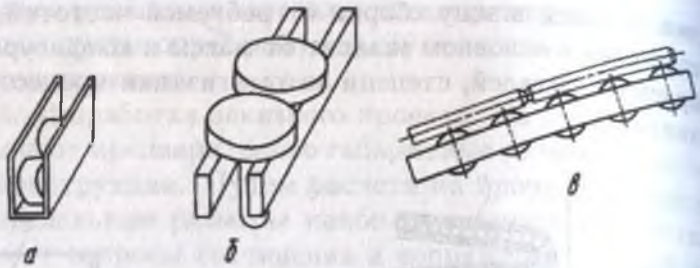


Рис. 2.48. Виды лотков:
а – скат; *б* – склиз; *в* – роликовый

ритные размеры более 100 мм), сложной формы, склонных к самосцеплению, автоматическая ориентация которых затруднена.

Конструкция детали определяет вид лотка (рис. 2.48), по которому она перемещается в магазине (скат, склиз, роликовый), а габаритные размеры детали и их запас – его пространственную конфигурацию. Угол наклона скатов к горизонтальной плоскости должен быть больше $7 \ldots 10°$, а склизов – больше $25 \ldots 30°$. Для ограничения скорости перемещения деталей лотки изготавливают с флажками, рычагами и другими устройствами периодического торможения деталей.

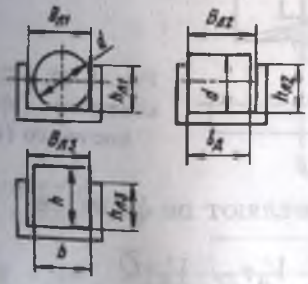
Во избежание заклинивания деталей рассчитывают параметры сечения лотков по формулам, приведенным в табл. 2.4.

Для принудительной подачи деталей в зону сборки применяют шибер (см. рис. 2.47, позиция *4*) с глубиной гнезда $H = 0,95h_д$, где $h_д$ – высота детали.

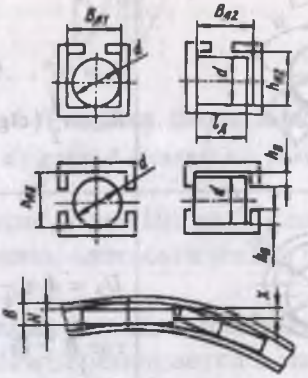
Бункерные загрузочные устройства применяют для деталей простой геометрической формы массой менее 0,5 кг и длиной не более 100 мм, не склонных к слипанию и сцеплению, достаточно жестких и нехрупких.

По объему деталей определяют конструкцию бункера: одноемкостную с одним бункером или многоемкостную с бункером для выдачи деталей и предбункером для хранения (стационарным или перемещаемым) (рис. 2.49).

Таблица 2.4. **Расчет параметров сечения лотка**

Форма лотка	Эскиз поперечного сечения лотка	Рекомендуемые формулы для расчета размеров
V- образный		$\alpha = 45° \ldots 60°$, $h_л = \frac{d}{2}(\operatorname{ctg}\alpha + 0,4)$
Круглый: внутренний		$D_л = d + \frac{l_д^2}{4(2R+d)}$, где $R \geq (5 \ldots 10)\, l_д$ – радиус изгиба лотка;
наружный		$D_л = d - \frac{l_д^2}{4(2R+d)}$, где $R \geq (5 \ldots 10)\, l_д$
Коробчатый: открытый		$B_{л1} = d + \frac{l_д^2}{4(2R+d)}$; $B_{л2} = l_л + d\left(\frac{\sqrt{1+(l_л/d)^2}}{\sqrt{1-f^2}} - \frac{l_л}{d}\right)$ при $l_л > d$; $B_{л3} = b + \frac{l_л}{4(2R+b)}$; $h_{л1} = (0,6 \ldots 0,7)\, d$, $h_{л2} = h_{л3} = (0,4 \ldots 0,5)\, d$; $R \geq (5 \ldots 10)\, l_д$ (f– коэффициент трения)

Окончание табл. 2.4

Форма лотка	Эскиз поперечного сечения лотка	Рекомендуемые формулы для расчета размеров
Коробчатый: закрытый		$B_{л1,2} = d + \frac{l_л^2}{4(2R+d)}$ при $B_{л1} = B_{л2}$; $h_{л1} = 1,1d$; $l_{л3} = d + \frac{l_л^2}{4(2R+d)}$ при $h_в = (0,2 \ldots 0,4)d$; $R \geq (6 \ldots 10)l_л$; $B \leq 2H - x^*$

* Для исключения перекрытия деталей (без учета фасок) значение x принимают равным 1 ... 2 мм.

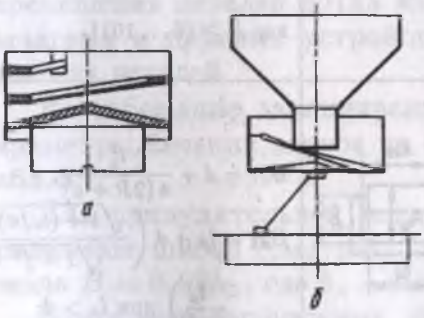


Рис. 2.49. Схемы одноемкостного (*а*) и многоемкостного (*б*) бункеров

Объем бункера вычисляют по формуле

$$V_б = \frac{V_д \tau}{tq} = \frac{V_д \tau \overline{Q}}{q},$$

где $V_д$ – объем детали, см^3; τ – время непрерывной работы бункера (без досыпки), мин; t – такт сборки; q – коэффициент объемного заполнения (для простых деталей

$q = 0,4 \ldots 0,6$, причем чем сложнее и длиннее деталь, тем меньше q); $\overline{Q}$ – средняя производительность устройства, шт/мин.

Наибольшее распространение в промышленности получили вибробункеры. При их применении рассчитывают диаметр чаши. Для чаши цилиндрической формы (рис. 2.50, *а*)

$$D_{\text{ц}} = D_{\text{в}} + 2b_{\text{ст}} = 3\sqrt{\frac{V_{\text{д}} \Pi_{\text{ц}} \tau}{\pi H_{\text{расч}}}} + 2b_{\text{ст}},$$

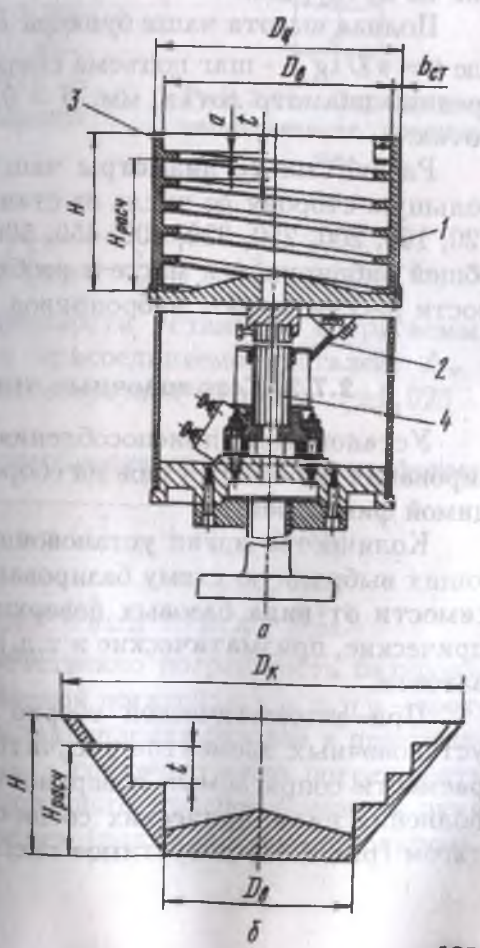


Рис. 2.50. Элементы конструкции вибробункера:
а – вибробункер с цилиндрической чашей; *б* – коническая чаша вибробункера; *1*, *2* – пружинная подвеска; *3* – лоток; *4* – вибропривод

для чаши конической формы (рис. 2.50, *б*)

$$D_к = D_в\left[\frac{H}{H_{расч}}\left(\sqrt{\frac{24V_д П_ц \tau}{\pi D_в^2 H_{расч}}} - 0,75 - 1,5\right) + 1\right] + 2b_{ст},$$

где $D_в \geq (5 \ldots 10)\, l_д$ – внутренний диаметр чаши бункера у днища, мм; $b_{ст}$ – толщина стенки, мм (для точеных чаш $b_{ст} = 2 \ldots 3$ мм, для сварных $b_{ст} = 1 \ldots 1,5$ мм); $V_д$ – объем детали, мм^3; $П_ц$ – цикловая производительность, мин; $H_{расч}$ – высота заполнения бункера, мм; $l_д$ – длина детали в преобладающем положении при перемещении по лотку, мм.

Полная высота чаши бункера $H = H_{расч} + (1,0 \ldots 1,5)\, t$, где $t = \pi \overline{D} \operatorname{tg} \beta$ – шаг подъема спирального лотка, мм; $\overline{D}$ – средний диаметр лотка, мм; $\beta = 0,5 \ldots 3°$ – угол подъема лотка.

Рассчитанные диаметры чаш бункеров округляют в большую сторону до числа из стандартного ряда: 60, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 450, 500, 640, 800, 1000 мм. По общей вибрирующей массе и необходимой производительности рассчитывают вибропривод.

2.7.2. Установочные приспособления

Установочные приспособления предназначены для базирования деталей и узлов на сборочной позиции с необходимой фиксацией.

Количество и тип установочных элементов, реализующих выбранную схему базирования, определяют в зависимости от вида базовых поверхностей (плоские, цилиндрические, призматические и т.д.), их точности и шероховатости.

При автоматической сборке точность изготовления установочных элементов рассчитывают из условий собираемости сопрягаемых поверхностей. Например, для выполнения цилиндрических соединений с зазором или натягом (рис. 2.51) допустимое смещение осей сопрягаемых

поверхностей Δ_Σ определяют из условия

$$\Delta_\Sigma < \sum_{i=1}^{2} f_i \pm \delta_c/2 + \sum_{i=1}^{2} \delta_{ni}/2,$$

где $\sum_{i=1}^{2} f_i$ – сумма катетов фасок на торцах сопрягаемых поверхностей; δ_c – минимальный зазор (со знаком "+") или минимальный натяг (со знаком "–"); δ_{ni} – размер выточки или расточки на торцах сопрягаемых поверхностей.

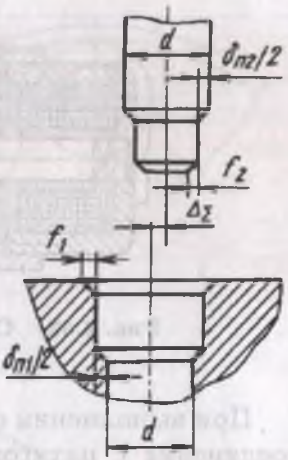


Рис. 2.51. Параметры выполняемого соединения

В свою очередь,

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\varepsilon^2_{у\text{Б.Д}} + \varepsilon^2_{у\text{П.Д}} + \Delta^2_н},$$

где $\varepsilon_{у\text{Б.Д}}$, $\varepsilon_{у\text{П.Д}}$ – погрешности установки сопрягаемых поверхностей базовой и присоединяемой деталей; $\Delta_н$ – погрешность настройки сборочной позиции ($\pm 0,025 \ldots 0,05$ мм).

Погрешность приспособления определяют по формулам

$$\varepsilon_{\text{ПР Б.Д}} = \sqrt{\varepsilon^2_{у\text{Б.Д}} - (\varepsilon^2_{б\,\text{Б.Д}} + \varepsilon^2_{з\text{П.Д}} + \Delta^2_п)};$$

$$\varepsilon_{\text{ПР П.Д}} = \sqrt{\varepsilon^2_{у\text{П.Д}} - (\varepsilon^2_{б\,\text{П.Д}} + \varepsilon^2_{з\text{П.Д}} + \Delta^2_{пп})},$$

где $\varepsilon_{б\,\text{Б.Д}}$, $\varepsilon_{б\,\text{П.Д}}$ – соответственно погрешность базирования базовой и присоединяемой деталей; $\varepsilon_{з\,\text{Б.Д}}$, $\varepsilon_{з\,\text{П.Д}}$ – соответственно погрешность закрепления базовой и присоединяемой деталей; $\Delta_п$, $\Delta_{пп}$ – соответственно погрешность позиционирования установочного приспособления и руки робота на сборочной позиции (повторного позиционирования).

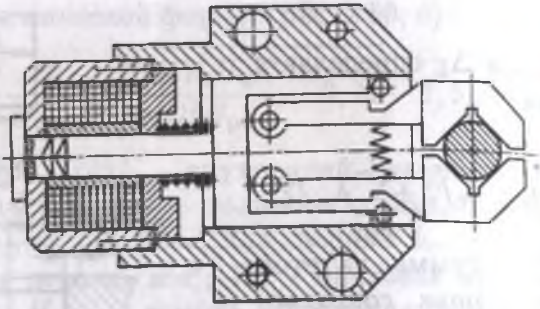


Рис. 2.52. Самоцентрирующее базирующее устройство

При выполнении соединений с тепловым воздействием (соединения с натягом, клеевые) в расчетных формулах необходимо учесть возможные тепловые деформации ΔT элементов приспособлений.

Для упрощенных расчетов можно принимать погрешность установки базовой и присоединяемой деталей $\varepsilon_y \approx \approx 0,6 \ldots 0,7\Delta_\Sigma$.

Для повышения безотказности сборочного процесса с целью снижения погрешности установки сопрягаемых поверхностей часто используют самоцентрирующие приспособления: патроны, схваты (рис. 2.52) и т.п.

2.7.3. Ориентирующие устройства

При автоматизированной сборке ориентирующие устройства выполняют две функции: ориентируют присоединяемые детали в пространстве и осуществляют взаимную ориентацию сопрягаемых поверхностей перед выполнением соединения в зоне сборки.

Метод ориентации деталей в пространстве зависит от их конструкции, массы, материала и уровня автоматизации. Различают контактные и бесконтактные методы. При контактном методе ориентация детали происходит под воздействием твердого, жидкого или газообразного тела, при бесконтактном методе – под воздействием электрического, магнитного или электромагнитного поля.

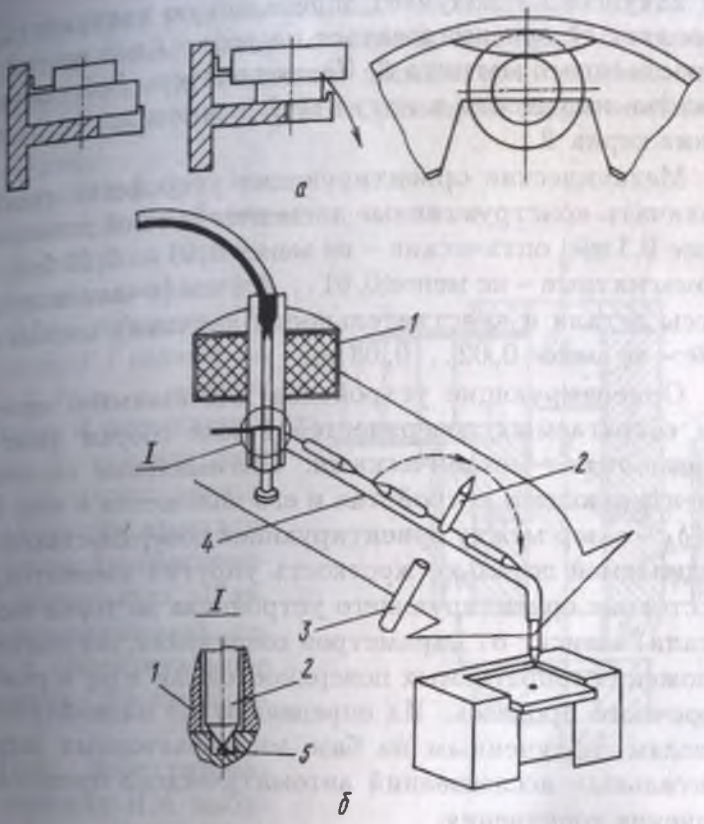


Рис. 2.53. Пассивное (*а*) и активное (*б*) ориентирующие устройства

По виду конструкции эти ориентирующие устройства бывают *пассивные* и *активные*. Используя гравитационные силы или конструктивные элементы деталей, пассивные ориентирующие устройства (рис. 2.53, *а*) неправильно сориентированные детали сбрасывают обратно в бункер, а правильно сориентиированные – пропускают в лотке в зону сборки. Активные устройства всем неправильно сориентированным деталям придают нужное положение в пространстве. В качестве примера на рис. 2.53, *б* показано устройство, где присоединяемая деталь – керн *2* в магнит-

ной катушке *1* – получает определенную полярность, что позволяет ей ориентироваться на лотке *4* под воздействием постоянного магнита *3*. Переключатель *5* обеспечивает нужную полярность в катушке *1* в зависимости от положения керна *2*.

Механические ориентирующие устройства способны различать конструктивные элементы детали размером не менее 0,3 мм, оптические – не менее $0,01 \ldots 0,05$ мм, электромагнитные – не менее $0,01 \ldots 0,1$ мм (в зависимости от массы детали и чувствительности датчика), пневматические – не менее $0,02 \ldots 0,03$ мм.

Ориентирующие устройства для взаимной ориентации сопрягаемых поверхностей в зоне сборки чаще всего выполняют механическими. Оптимальные параметры ориентирующего устройства и его положения в зоне сборки (δ_Λ – зазор между ориентирующей поверхностью и присоединяемой деталью, жесткость упругих элементов, $l_т$ – расстояние ориентирующего устройства до торца базовой детали) зависят от параметров соединения, погрешностей положения сопрягаемых поверхностей Δ_Σ и α_Σ и режимов сборочного процесса. Их определяют по математическим моделям, полученным на базе многофакторных экспериментальных исследований автоматического процесса выполнения соединения.

2.7.4. Рабочие приспособления

Рабочие приспособления – исполнительные механизмы (ИМ) – по виду выполняемого соединения подразделяют на прессовые постоянного действия для раскатки, вальцовки, соединения с натягом и т.п.; ударные для заклепки, кернения и т.п.; адгезионные для сварки, пайки, склеивания и т.п.; резьбовые для затяжки резьбовых соединений; на устройства для выполнения соединений с зазором (досылатели, рабочие органы сборочных роботов и др.) и комбинированные (клеесварные, клеезаклепочные и т.д.).

Параметры исполнительных механизмов зависят от вида соединения (с зазором, с натягом и т.д.), от способа его выполнения (при помощи досылателя, тепловым воздействием, запрессовкой) и от размеров сопрягаемых поверхностей.

Например, при автоматической сборке при выполнении цилиндрических соединений (рис. 2.54) диаметр $D_д$ досылателя *1* делают на 0,1 ... 0,2 мм меньше диаметра d сопрягаемой детали *2*, так как при этом досылатель выполняет функции отсекателя в лотке *4* и обеспечивает поштучную выдачу присоединяемой детали в ориентирующее устройство *3* зоны сборки.

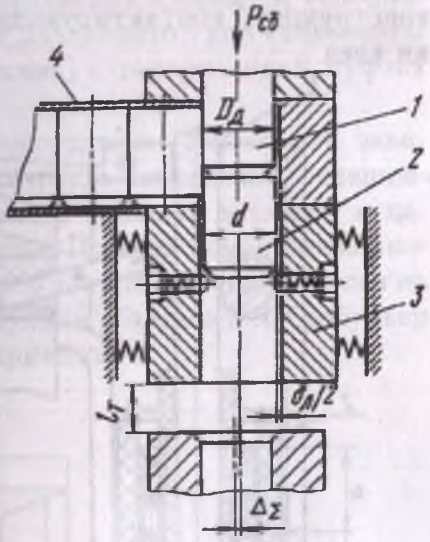


Рис. 2.54. Устройство с упругими компенсаторами для сборки цилиндрических соединений с зазором

При проектировании силовых ИМ выбирают вид привода и выполняют силовой расчет для определения его параметров. В конструкциях используют ручные, электрические, пневматические, гидравлические, гидропневматические приводы, дополненные в ряде случаев рычажными или клиновыми усилителями. Для автоматизированной многопозиционной сборки проектируют устройства с несколькими рабочими органами, работающими параллельно.

При проектировании оборудования для нанесения клеев и других адгезивных материалов необходимо учиты-

вать ряд особенностей. Во избежание выхода из строя дозаторов, подающих жидкие клеи, из-за возникновения клеевых пробок на пути транспортировки клея, не следует применять элементы из материалов, вызывающих адгезию или стимулирующих отверждение данного клея. Использование клеев, чувствительных к температурным перепадам, требует изоляции нагревающихся элементов конструкции, контактирующих с зонами транспортировки клея.

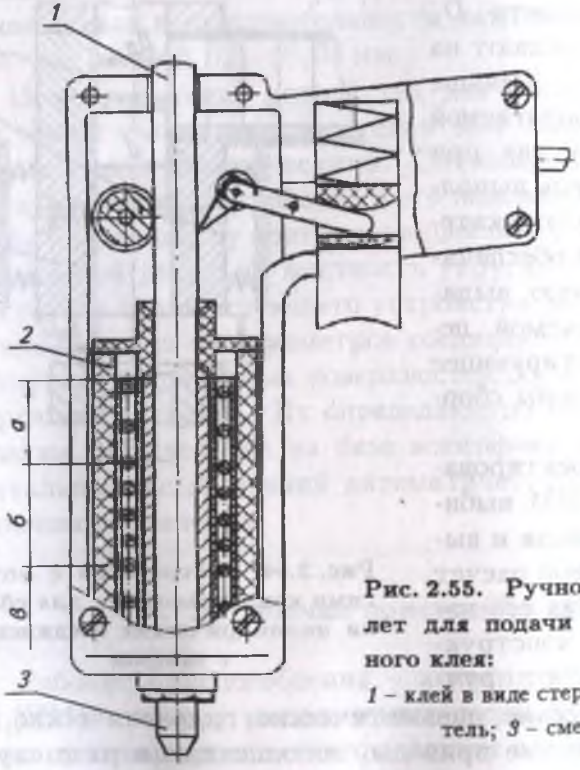


Рис. 2.55. Ручной термопистолет для подачи термопластичного клея:

1 – клей в виде стержня; *2* – нагреватель; *3* – сменное сопло

Для подачи термопластичных клеев, которые в нормальных условиях представляют пластичное твердое тело без клеящих свойств и становятся жидкими при нагреве, используют термопистолет (рис. 2.55). Нагревательные устройства пистолета имеют три зоны нагрева. В зоне *а* (см. рис. 2.55) температура должна быть достаточ-

ной лишь для его размягчения; в зоне *б* поддерживают рабочую температуру расплава; в зоне *в* температура на 5...15 % ниже рабочей температуры расплава. В противном случае расширяющийся при нагреве клей самопроизвольно будет поступать в зону сборки. Для поддержания температуры применяют устройства обратной связи.

Для сборки резьбовых соединений в качестве исполнительных органов применяют различного типа гайковерты (электрические, пневматические) с тарированной муфтой или без нее.

Выбор той или иной конструкции гайковерта зависит от типа производства, качества соединения, оснащенности производства, требуемого момента затяжки и параметров деталей соединения. Пример комбинированного загрузочно-исполнительного устройства представлен на рис. 2.56, где в одной конструкции объединен вибробункер *1*, лоток *4* и винтоверт *3* с приводом *2*.

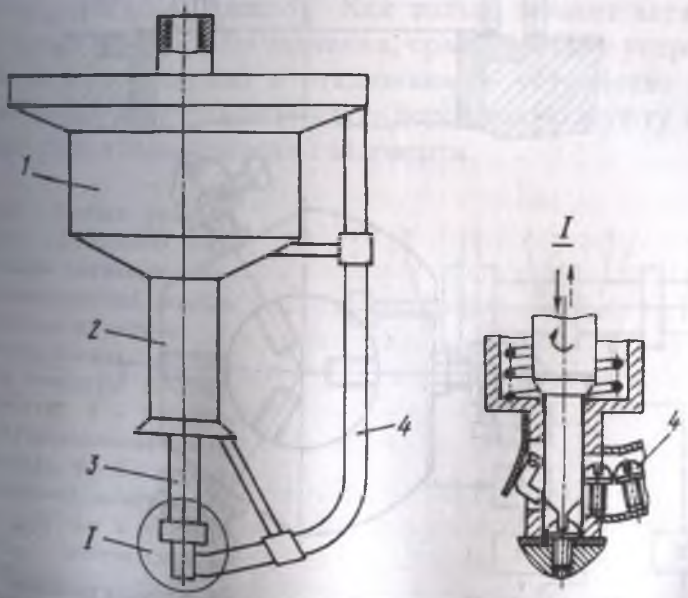


Рис. 2.56. Пример комбинированного устройства для автоматизированной подачи и завинчивания винтов

2.7.5. Контрольные приспособления

Контрольные приспособления служат для контроля качества выполнения соединения (момента затяжки, силы запрессовки), а также для контроля выходных геометрических параметров соединения (параллельности, перпендикулярности поверхностей). На рис. 2.57 показано приспособление для контроля взаимного положения гильзы цилиндра *1* и корпусной детали *2*. Погрешность положения

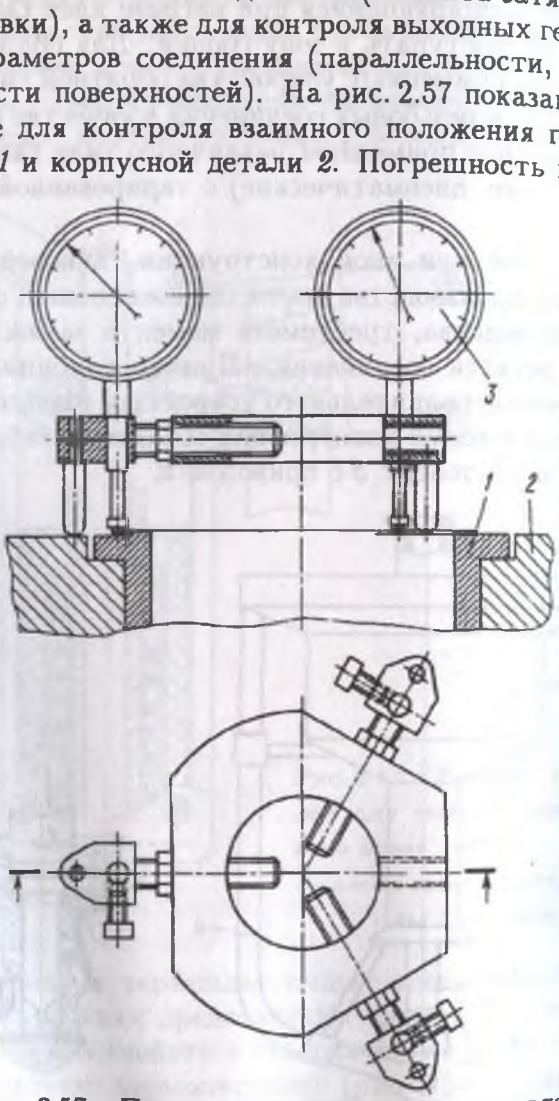


Рис. 2.57. Приспособление для контроля положения гильзы цилиндра:

1 – гильза цилиндра; *2* – корпус; *3* – индикатор

(проседание) торца гильзы определяют по разнице показаний индикаторов *3*, предварительно настроенных на ноль по эталону. По конструкции контрольные устройства могут быть механическими, электронными, пневматическими, оптическими и др.

Наиболее эффективными являются средства активного контроля, позволяющие управлять качеством сборки в процессе выполнения соединения. На рис. 2.58 представлена схема устройства для комбинированного контроля силы затяжки $P_з$ ответственных резьбовых соединений по моменту затяжки $M_з$ и углу поворота φ. В микропроцессорную систему управления поступают сигналы от тензодатчиков *2*, *3*, замеряющих реактивный момент на корпусе гайковерта (датчик момента) и угол поворота болта (гайки). Управляющая система определяет пороговый момент (блок *6*), приращения ΔM, $\Delta\varphi$ и их отношение (блок *7*) и рассчитывает требуемый момент затяжки $M_{тр} = \varphi_{тр}\Delta M/\Delta\varphi$ (блок *8*). Как только момент затяжки достигает требуемого значения, сравнивающее устройство *9* посылает сигнал в отключающее устройство *10*, которое через электромагнитную порошковую муфту отключает двигатель привода гайковерта.

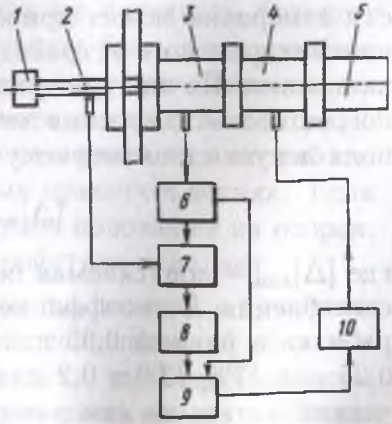


Рис. 2.58. Схема устройства для активного контроля силы затяжки резьбового соединения комбинированным методом:
1 – ключевая насадка; *2* – датчик угла поворота; *3* – датчик момента; *4* – электромагнитная порошковая муфта; *5* – двигатель; *6* – *8* – устройства измерения момента, отношения $\Delta M/\Delta\varphi$ и вычисления $M_{тр}$ соответственно; *9* – сравнивающее устройство; *10* – отключающее устройство

2.8. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

2.8.1. Назначение контрольных приспособлений

Контрольные приспособления служат для проверки точности выполнения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей и узлов машин. Высокие требования точности обуславливают необходимость применения в контрольных приспособлениях измерительных приборов высокой чувствительности. Точность контрольного приспособления в значительной степени зависит от принятого метода измерения, степени совершенства конструкции приспособления и точности изготовления его элементов.

2.8.2. Погрешность измерения и основные виды погрешностей контрольных приспособлений

Под погрешностью измерения следует понимать разность между показаниями контрольного приспособления и действительным значением проверяемой им величины. Погрешность измерения должна иметь по возможности небольшое значение. Однако чрезмерное повышение точности измерения может привести к усложнению и удорожанию контрольного устройства и повышению трудоемкости измерения. По опыту передовых заводов машиностроения погрешность измерения может составлять $20 \ldots 35\,\%$ от поля допуска на измеряемую величину, т.е.

$$[\Delta]_{\text{изм}} = kT,$$

где $[\Delta]_{\text{изм}}$ – допускаемая погрешность контрольного приспособления; k – коэффициент, зависящий от точности обработки и равный 0,35 для $IT2 \ldots IT6$; 0,3 для $IT6$, $IT7$; 0,25 для $IT8$, $IT9$ и 0,2 для $IT10 \ldots IT16$; T – технологический допуск на измеряемую (контролируемую) величину.

При разработке контрольного приспособления необходимо уметь определять погрешность измерения для выбранной схемы контроля. Для этого следует тщательно проанализировать все погрешности, влияющие на точность измерения. Общая погрешность измерения $\Delta_{мет}$ приспособления есть сумма погрешности положения детали в контрольном приспособлении ε; погрешности передаточных устройств приспособления $\Delta_р$; погрешности изготовления эталона, служащего для настройки приспособления, $\Delta_э$ и погрешности, вызываемой неточностью показаний измерительного прибора $\Delta_п$.

Рассмотрим каждую из них в отдельности.

Погрешность положения детали в контрольном приспособлении ε определяется погрешностью базирования $\varepsilon_б$, когда технологическая база не совпадает с измерительной базой, погрешностью закрепления детали при измерении $\varepsilon_з$ и погрешностью самого приспособления $\varepsilon_{пр}$.

Погрешность базирования $\varepsilon_б$ можно определить на основе геометрических расчетов (см. гл. 2, т. 1 настоящего учебника).

Стабильность положения контролируемой детали в приспособлении обеспечивается использованием зажимных устройств, которые не должны развивать больших сил закрепления (последние должны быть постоянными, так как их изменение определяет значение погрешности закрепления $\varepsilon_з$). Работа зажимного устройства контрольного приспособления существенно отличается от работы подобных устройств в станочных приспособлениях. Если деталь занимает вполне устойчивое положение на опорах, необходимость в зажимных устройствах отпадает.

Погрешность приспособления $\varepsilon_{пр}$ зависит от погрешностей изготовления его деталей, погрешностей сборки и регулировки, а также от погрешности, вызванной износом его элементов в процессе эксплуатации, которую обозначим $\varepsilon_{пр1}$.

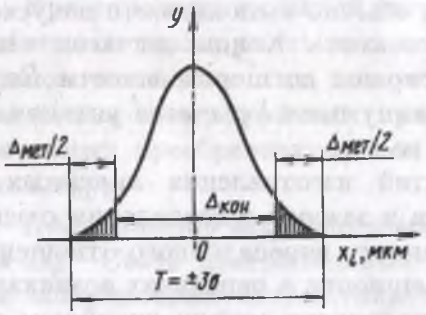


Рис. 2.61. Схема расположения технологического допуска T, погрешности контрольного приспособления $\Delta_{мет}$ и допуска для контроля годовых изделий $\Delta_{кон}$

$= (0,2 \ldots 0,35)T$. Тогда процесс контроля (отбраковки) изделий нужно производить не по технологическому допуску T, а по величине, которая меньше технологического допуска на погрешность контрольного приспособления, т.е. $\Delta_{кон} = T - \Delta_{мет}$ (рис. 2.61).

2.8.3. Расчеты, связанные с определением составляющих общей погрешности контрольного приспособления

Определение погрешности базирования детали в контрольном приспособлении

Ниже будут рассмотрены только несколько специфических схем установки деталей при контроле деталей, остальные подробно изложены в 2.2.

Схему установки детали по двум соосным отверстиям применяют для измерения расстояний между осями отверстий, отклонений от параллельности и от перпендикулярности осей и т.д.

Установка детали на цилиндрической оправке (рис. 2.62). Поворот гладких оправок в отверстиях и связанная с этим погрешность базирования зависят в значительной степени от зазоров между отверстиями и оправкой, а также от отклонения ϵ от соосности базовых отверстий.

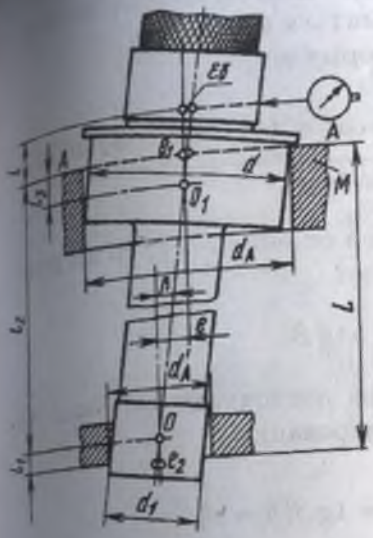


Рис. 2.62. Схема установки детали на цилиндрической оправке по двум отверстиям

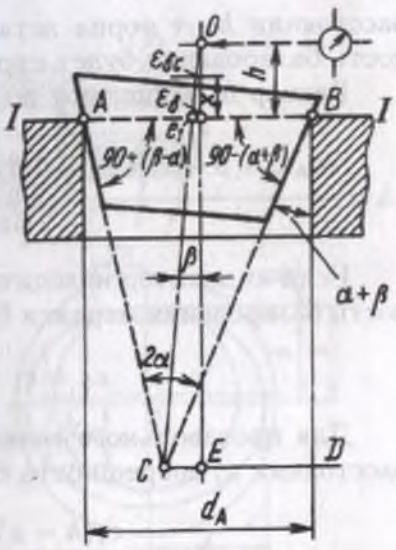


Рис. 2.63. Расчетная схема при использовании оправки с передней конической поверхностью

Из геометрических соотношений

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{e + e_1 + e_2}{L},$$

где L – расстояние между торцами отверстий; $e_1 \cong (d_A - d)/2$, $e_2 \cong (d'_A - d_1)/2$ – зазоры.

Устанавливая индикатор на расстоянии l от торца $A - A$ детали, погрешность базирования при использовании данной оправки определяем по формуле

$$\varepsilon_б = l \operatorname{tg}\beta + e_1.$$

Установка детали на оправке с конической и цилиндрической поверхностями (рис. 2.63). При использовании таких оправок индикатор необходимо располагать так, чтобы плоскость измерения пересекалась с осью оправки и отверстия, т.е. в сечении, проходящим через точку O (на

расстоянии h от торца детали). В этом случае погрешность базирования будет стремиться к нулю.

Размер h вычисляют по формуле

$$h = \frac{2d_A \cos(\beta-\alpha)\left[\sin(\alpha+\beta)-\cos(\alpha+\beta)\operatorname{tg}\beta\right] - d_2 \sin 2\alpha}{2\sin 2\alpha \operatorname{tg}\beta}.$$

Если индикатор находится в сечении $I-I$, то погрешность базирования оправки будет

$$\varepsilon_б = e_1 = h \operatorname{tg}\beta.$$

Для произвольного сечения, отстоящего от торца на расстоянии x, погрешность базирования

$$\varepsilon_{бс} = \frac{e_1(h-x)}{h} = \operatorname{tg}\beta(h-x).$$

Установка детали на гладкой оправке со срезанной площадкой (рис. 2.64, *а*). Данный тип оправок применяют для контроля отклонений от соосности внутренней и наружной поверхностей детали. Чтобы обеспечить постоянный контакт втулки с оправкой при ее повороте на 360°, предусматривают пластинчатую пружину *2*. Из-за наличия площадки отверстие втулки имеет постоянный контакт по образующим в точках A и B.

При такой конструкции оправок непосредственное измерение эксцентриситета e осей у втулок заменяется измерением разности значений h_o при повороте детали на 360°.

Ширину плоской поверхности C (см. рис. 2.64) следует выбирать возможно меньшей и такой, чтобы угол между точками A и B находился в пределах 60...90°.

Рассмотрим два возможных случая базирования втулок на оправках, когда отверстие во втулке не имеет и когда оно имеет отклонение формы. В первом случае при повороте втулки на 360° на оправке центр ее наружной поверхности последовательно проходит положения O_1 и

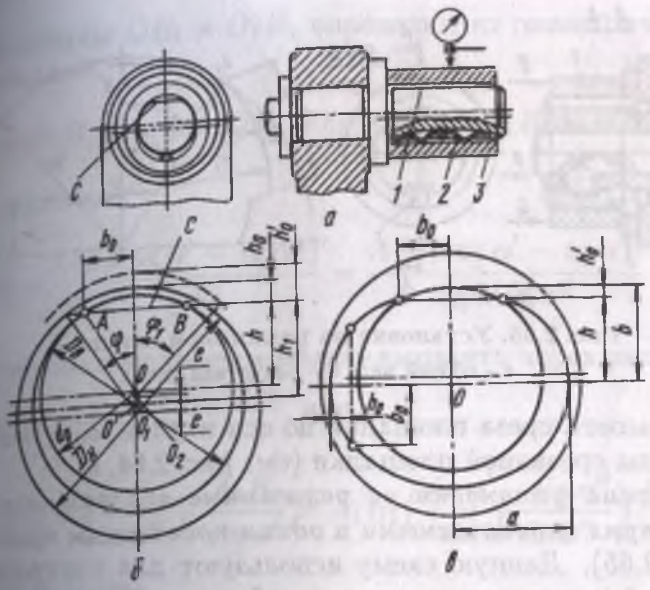


Рис. 2.64. Контроль соосности наружной и внутренней поверхностей втулки при установке на гладкой оправке со срезанной площадкой:

1 – оправка; *2* – пружина; *3* – деталь

(рис. 2.64, *б*) и $O_1O_2 = 2e$. Разность показаний индикатора при повороте втулки $h'_o - h = 2e$. Таким образом, при измерении величины $2e$ у втулок с правильной геометрической формой отверстия погрешность их установки на данной оправке равна нулю ($\varepsilon_б = 0$).

Если отверстие имеет погрешность формы в виде эллипса (рис. 2.64, *в*), погрешность базирования будет равна

$$\varepsilon_б = h_o - h'_o; \quad h_o = a - \frac{a}{b}\sqrt{b^2 - b_o^2} \quad \text{и} \quad h'_o = b - \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - b_o^2},$$

где h_o – максимальный зазор между площадкой оправки и отверстием при совпадении большой полуоси эллипса с плоскостью измерения; h'_o – то же, но при совпадении малой полуоси эллипса с плоскостью измерения; a, b – полуоси эллипса; h – высота среза площадки до оси оправки;

расстоянии h от торца детали). В этом случае погрешность базирования будет стремиться к нулю.

Размер h вычисляют по формуле

$$h = \frac{2d_A \cos(\beta-\alpha)\left[\sin(\alpha+\beta)-\cos(\alpha+\beta)\operatorname{tg}\beta\right]-d_2\sin 2\alpha}{2\sin 2\alpha \operatorname{tg}\beta}.$$

Если индикатор находится в сечении $I-I$, то погрешность базирования оправки будет

$$\varepsilon_6 = e_1 = h\operatorname{tg}\beta.$$

Для произвольного сечения, отстоящего от торца на расстоянии x, погрешность базирования

$$\varepsilon_{6c} = \frac{e_1(h-x)}{h} = \operatorname{tg}\beta(h-x).$$

Установка детали на гладкой оправке со срезанной площадкой (рис. 2.64, *а*). Данный тип оправок применяют для контроля отклонений от соосности внутренней и наружной поверхностей детали. Чтобы обеспечить постоянный контакт втулки с оправкой при ее повороте на 360°, предусматривают пластинчатую пружину *2*. Из-за наличия площадки отверстие втулки имеет постоянный контакт по образующим в точках A и B.

При такой конструкции оправок непосредственное измерение эксцентриситета e осей у втулок заменяется измерением разности значений h_o при повороте детали на 360°.

Ширину плоской поверхности C (см. рис. 2.64) следует выбирать возможно меньшей и такой, чтобы угол между точками A и B находился в пределах 60...90°.

Рассмотрим два возможных случая базирования втулок на оправках, когда отверстие во втулке не имеет и когда оно имеет отклонение формы. В первом случае при повороте втулки на 360° на оправке центр ее наружной поверхности последовательно проходит положения O_1 и O_2

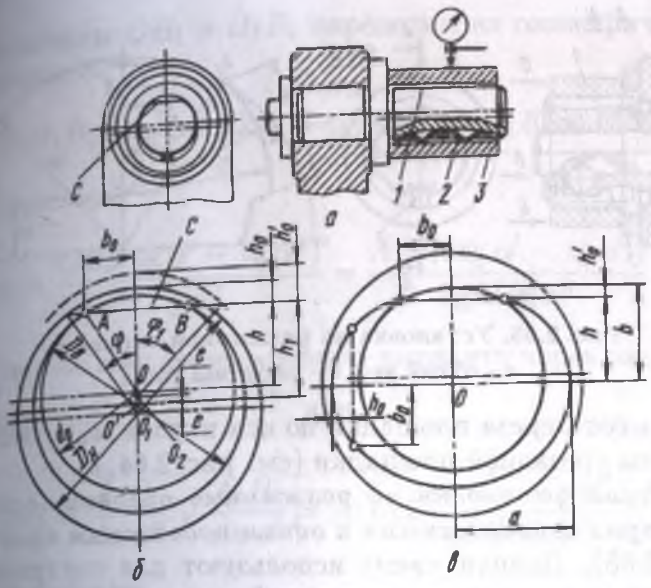


Рис. 2.64. Контроль соосности наружной и внутренней поверхностей втулки при установке на гладкой оправке со срезанной площадкой:

1 – оправка; *2* – пружина; *3* – деталь

(рис. 2.64, *б*) и $O_1O_2 = 2e$. Разность показаний индикатора при повороте втулки $h'_o - h = 2e$. Таким образом, при измерении величины $2e$ у втулок с правильной геометрической формой отверстия погрешность их установки на данной оправке равна нулю ($\varepsilon_б = 0$).

Если отверстие имеет погрешность формы в виде эллипса (рис. 2.64, *в*), погрешность базирования будет равна

$$\varepsilon_б = h_o - h'_o; \quad h_o = a - \frac{a}{b}\sqrt{b^2 - b_o^2} \quad \text{и} \quad h'_o = b - \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - b_o^2},$$

где h_o – максимальный зазор между площадкой оправки и отверстием при совпадении большой полуоси эллипса с плоскостью измерения; h'_o – то же, но при совпадении малой полуоси эллипса с плоскостью измерения; a, b – полуоси эллипса; h – высота среза площадки до оси оправки;

расстоянии h от торца детали). В этом случае погрешность базирования будет стремиться к нулю.

Размер h вычисляют по формуле

$$h = \frac{2d_A \cos(\beta - \alpha)\left[\sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)\operatorname{tg}\beta\right] - d_2 \sin 2\alpha}{2\sin 2\alpha \operatorname{tg}\beta}.$$

Если индикатор находится в сечении $I - I$, то погрешность базирования оправки будет

$$\varepsilon_б = e_1 = h \operatorname{tg}\beta.$$

Для произвольного сечения, отстоящего от торца на расстоянии x, погрешность базирования

$$\varepsilon_{бс} = \frac{e_1(h - x)}{h} = \operatorname{tg}\beta(h - x).$$

Установка детали на гладкой оправке со срезанной площадкой (рис. 2.64, *а*). Данный тип оправок применяют для контроля отклонений от соосности внутренней и наружной поверхностей детали. Чтобы обеспечить постоянный контакт втулки с оправкой при ее повороте на 360°, предусматривают пластинчатую пружину *2*. Из-за наличия площадки отверстие втулки имеет постоянный контакт по образующим в точках A и B.

При такой конструкции оправок непосредственное измерение эксцентриситета e осей у втулок заменяется измерением разности значений h_o при повороте детали на 360°.

Ширину плоской поверхности C (см. рис. 2.64) следует выбирать возможно меньшей и такой, чтобы угол между точками A и B находился в пределах 60... 90°.

Рассмотрим два возможных случая базирования втулок на оправках, когда отверстие во втулке не имеет и когда оно имеет отклонение формы. В первом случае при повороте втулки на 360° на оправке центр ее наружной поверхности последовательно проходит положения O_1 и O_2

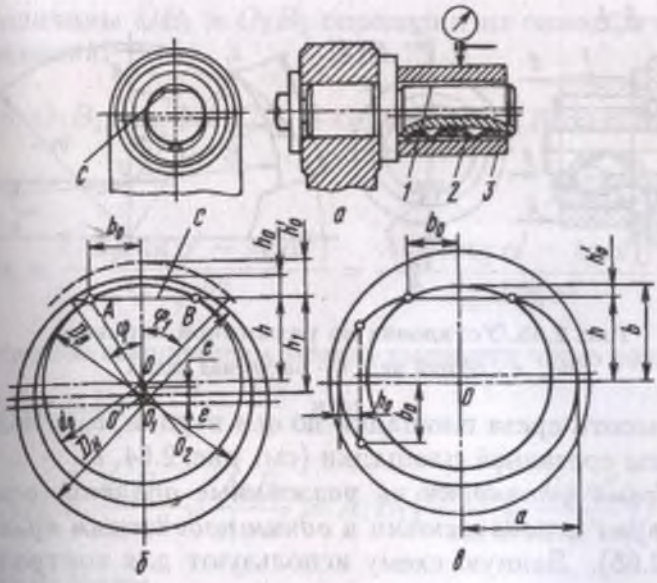


Рис. 2.64. Контроль соосности наружной и внутренней поверхностей втулки при установке на гладкой оправке со срезанной площадкой:

1 – оправка; *2* – пружина; *3* – деталь

(рис. 2.64, *б*) и $O_1O_2 = 2e$. Разность показаний индикатора при повороте втулки $h'_o - h = 2e$. Таким образом, при измерении величины $2e$ у втулок с правильной геометрической формой отверстия погрешность их установки на данной оправке равна нулю ($\varepsilon_б = 0$).

Если отверстие имеет погрешность формы в виде эллипса (рис. 2.64, *в*), погрешность базирования будет равна

$$\varepsilon_б = h_o - h'_o; \quad h_o = a - \frac{a}{b}\sqrt{b^2 - b_o^2} \quad \text{и} \quad h'_o = b - \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - b_o^2},$$

где h_o – максимальный зазор между площадкой оправки и отверстием при совпадении большой полуоси эллипса с плоскостью измерения; h'_o – то же, но при совпадении малой полуоси эллипса с плоскостью измерения; a, b – полуоси эллипса; h – высота среза площадки до оси оправки;

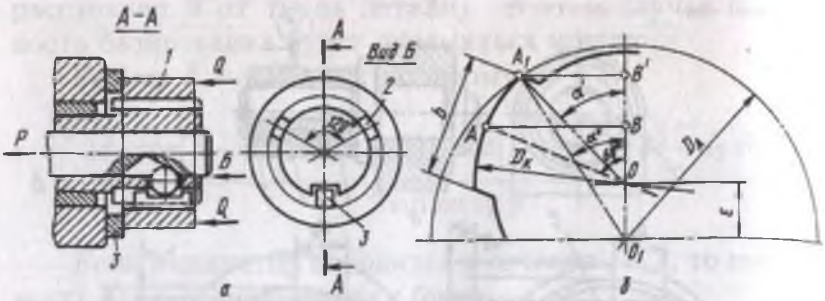


Рис. 2.65. Установка на разжимной оправке:
а – общий вид; *б* – расчетная схема

h_1 – высота среза площадки до оси втулки; b_0 – половина ширины срезанной площадки (см. рис. 2.64, *в*).

Схема установки на разжимные оправки, оснащенные двумя неподвижными и одним подвижным кулачками (рис. 2.65). Данную схему используют для контроля расстояний между осями, отклонений от параллельности торцев, двух отверстий и т.д.

Деталь *1* (см. рис. 2.65, *а*) устанавливают на два неподвижных кулачка *2*, обеспечивая ей постоянный контакт с поверхностью *3*. Оправки такой конструкции применяют для деталей с отверстиями 30 ... 100 мм высокой точности. Диаметр оправки $D_к$ выполняют на 0,01 ... 0,02 мм меньше минимального диаметра отверстий D_A у детали, благодаря чему и обеспечивается контакт в точке A_1. Для деталей с отверстиями 50 ... 80 мм разность между диаметрами D_A и $D_к$ составляет 0,038 мм для отверстий с допуском $IT6$ и 0,05 мм – для отверстий с допуском $IT7$. Ширина кулачков обычно составляет 15 ... 20 мм.

Центр отверстия проверяемой детали будет всегда смещаться вниз относительно центра кулачков оправки на величину $\varepsilon_б$, которая является погрешностью базирования.

Если O_1 – центр отверстия контролируемой детали, а O – центр кулачков оправки, то смещение $\varepsilon_б$ (см. рис. 2.65, *б*) будет равно

$$\varepsilon_б = O_1B_1 - OB_1.$$

Величины OB_1 и O_1B_1 определим из геометрических соотношений:

$$A_1B_1 = O_1B_1 \operatorname{tg}\alpha'' = (OB_1 + \varepsilon_6)\operatorname{tg}\alpha'; \quad A_1B_1 = OB_1 \operatorname{tg}\alpha'.$$

Тогда

$$\varepsilon_6 = \frac{OB_1(\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha'')}{\operatorname{tg}\alpha''} = \frac{A_1B_1(\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha'')}{\operatorname{tg}\alpha' \operatorname{tg}\alpha''}.$$

Искомое смещение ε_6 можно выразить через радиальный зазор $\Delta R = \frac{D_A}{2} - \frac{D_K}{2}$, или

$$\Delta R = \frac{A_1B_1}{\sin\alpha''} - \frac{A_1B_1}{\sin\alpha'} = A_1B_1\left(\frac{\sin\alpha' - \sin\alpha''}{\sin\alpha' \sin\alpha''}\right).$$

Отсюда находим

$$\varepsilon_6 = \frac{\Delta R(\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha'')\cos\alpha' \cos\alpha''}{\sin\alpha' - \sin\alpha''}.$$

Приближенно можно считать, что $\varepsilon_6 \approx 1,8\Delta R$.

Определение погрешности закрепления детали в контрольном приспособлении

Погрешности закрепления можно определять по аналитическим зависимостям, рассчитывая предельные значения смещения детали на опорах от прилагаемой силы. Однако этот метод весьма трудоемок и не универсален. Зажимные устройства в контрольных приспособлениях развивают небольшие усилия, чтобы не нарушить постоянства положения детали относительно измерительных средств. При таком условии $\varepsilon_з$ будет минимальной и определяется в основном колебаниями прилагаемой силы, изменением места ее приложения, отклонениями формы контактных поверхностей и т.п. Погрешность закрепления $\varepsilon_з$ носит случайный характер. При установке детали

в контрольном приспособлении без закрепления погрешность закрепления равна нулю.

Определение погрешности изготовления приспособления

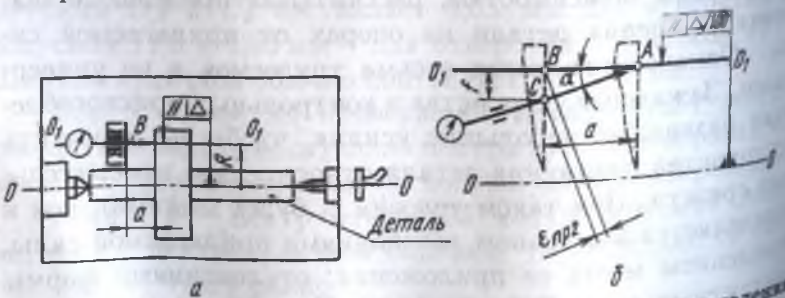
При определении погрешности изготовления приспособления $\varepsilon_{пр}$ необходимо отдельно учитывать погрешность изготовления установочных элементов приспособления $\varepsilon_{пр\,1}$ и погрешность взаимного расположения этих элементов относительно элементов для установки измерительных приборов $\varepsilon_{пр\,2}$.

Рассмотрим расчет погрешности взаимного расположения установочных элементов приспособления относительно измерительного прибора для схемы, показанной на рис. 2.66, *а*.

В ходе обработки корпуса контрольного приспособления ось отверстия O_1O_1 для установки индикатора была выполнена с отклонением от параллельности к оси OO на величину $\Delta/100$. Из схемы, представленной на рис. 2.66, *б*, можно записать

$$\varepsilon_{пр\,2} = AC - AB = \sqrt{a^2 + f^2} - a;$$

где a – перемещение щупа индикатора; $f = a\,\mathrm{tg}\,\alpha$; $\alpha = \Delta/100$ – допускаемое отклонение от параллельности рассматриваемых осей.



а *б*

Рис. 2.66. Схема контроля (*а*) и расчетная схема определения $\varepsilon_{пр\,2}$ (*б*)

Окончательно имеем

$$\varepsilon_{\text{пр}\,2} = a\left(\sqrt{\operatorname{tg}^2\alpha + 1} - 1\right).$$

Общую погрешность изготовления установочных элементов приспособления определим по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon^2_{\text{пр}\,1} + \varepsilon^2_{\text{пр}\,2}}.$$

Основные данные о $\varepsilon_{\text{пр}\,1}$ и $\varepsilon_{\text{пр}\,2}$ приведены в табл. 2.5 и 2.6.

Определение погрешности передаточных устройств контрольных приспособлений

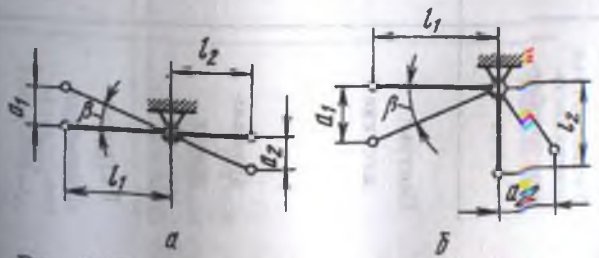
Погрешность передаточных устройств $\Delta_{\text{р}}$ обуславливается совокупным влиянием целого ряда кинематических погрешностей. Рассмотрим наиболее значимые из них.

Погрешность вследствие неточности изготовления плеч рычагов $\Delta_{\text{р}1}$. Для равноплечих простых прямых и угловых рычагов (рис. 2.67) вследствие отклонений в длинах плеч перемещения концов плеч рычага будут различными. Наибольшее значение эта погрешность имеет в случае, когда $l_1 = l_{\max}$ и $l_2 = l_{\min}$. Тогда

$$\Delta_{\text{р}1} = a_1 - a_2 = (l_1 - l_2)\sin\beta,$$

где $a_{1,2}$ – перемещения плеч рычага. Принимая $\sin\beta = a_1/l_1$, находим

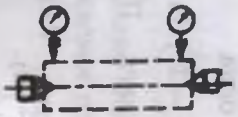
$$\Delta_{\text{р}1} = \left(1 - \frac{l_2}{l_1}\right)a_1.$$



а *б*

Рис. 2.67. Прямые равноплечие рычаги

Таблица 2.5. **Точность изготовления базовых элементов приспособлений для установки деталей**

Установочная поверхность приспособления	Схема измерений	Вид погрешности	$\varepsilon_{пр1}$, мм	
			для нового приспособления	максимально допустимое в условиях эксплуатации
Центры: жесткие		Отклонение от соосности	$\frac{0,003-0,005}{150}$	$\frac{0,008}{150}$
вращающиеся		То же	$\frac{0,005-0,008}{150}$	$\frac{0,01}{150}$
Патроны: мембранные		Радиальное биение Торцевое биение	0,005–0,01 $\frac{0,01-0,015}{R}$	0,015 $\frac{0,025}{R}$
цанговые		Радиальное биение	0,01–0,015	0,02

Окончание табл. 2.5

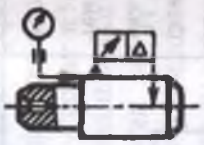
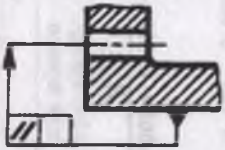
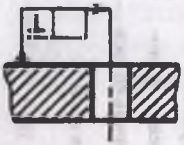
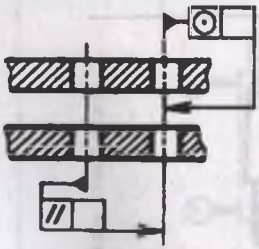
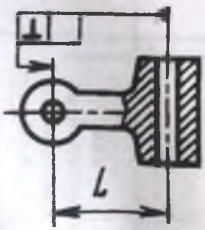
Установочная поверхность приспособления	Схема измерений	Вид погрешности	$\varepsilon_{пр1}$, мм	
			для нового приспособления	максимально допустимое в условиях эксплуатации
Оправки для установки деталей		Радиальное биение посадочной поверхности относительно оси центров	0,003–0,007	0,010–0,015
		Торцевое биение относительно оси центров	$\frac{0,005-0,008}{R}$	$\frac{0,010-0,020}{R}$

Таблица 2.6. **Точность взаимного расположения базовых элементов для установки деталей относительно элементов установки измерительных приборов**

Схема расположения элементов	Вид погрешности	$\varepsilon_{пр_2}$, мм
	Отклонение от параллельности оси и плоскости	$\frac{0,008-0,02}{100}$
	Отклонение от перпендикулярности оси и плоскости	$\frac{0,005-0,02}{100}$
	Отклонение от соосности отверстий Отклонение от параллельности систем отверстий	$\frac{0,005-0,02}{100}$ $\frac{0,01-0,025}{100}$
	Отклонение межосевого расстояния Отклонение от перпендикулярности осей отверстий между собой	$\pm(0,01-0,03)$ $\frac{0,008-0,02}{100}$

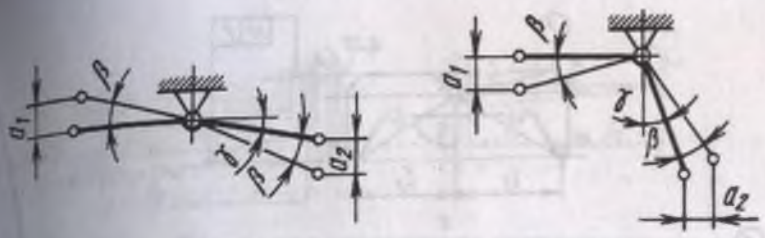


Рис. 2.68. Простые рычаги с угловой ошибкой

Погрешность Δ_{p1} наиболее ощутима у рычагов с передаточным отношением $k > 1$, т.е. когда $l_1 \neq l_2$. В ряде случаев имеется погрешность в угловом (рис. 2.68) расположении γ плеч рычагов. Для равноплечих рычагов

$$\Delta_{p1} = a_1 - a_2 = l\sin\beta - \\ -\left[(l\sin\beta + \gamma) - l\sin\beta\right] \cong l\sin\gamma(1 - \cos\beta).$$

Рычаги сложной формы применяют обычно при передаточном отношении $k > 1$. Длины плеч (рис. 2.69, *а*) будут зависеть от параллельности плоскостей AA и MM между собой и размера l_3 относительно оси вращения рычага. Если плоскость MM не параллельна плоскости AA, то плечи рычага не будут одинаковые: правое плечо (рис. 2.69, *б*) имеет длину l_2, а левое – l_2'. И, как следствие, в рычагах будет иметь место погрешность Δ_{p1}, которая влияет на передаточный коэффициент k.

Передаточное отношение k, согласно схеме на рис. 2.69, *в*, равно

$$k = \frac{l_1\sin\alpha_1(\cos\beta - 1) + \cos\alpha_1\sin\beta}{l_2\sin\alpha(1 - \cos\beta) + \cos\alpha\sin\beta}.$$

Поскольку $l_2 = l_2'$ (равноплечий рычаг), $\cos\beta = 1$ и $k = \dfrac{l_1\cos\alpha_1}{l_2\cos\alpha}$.

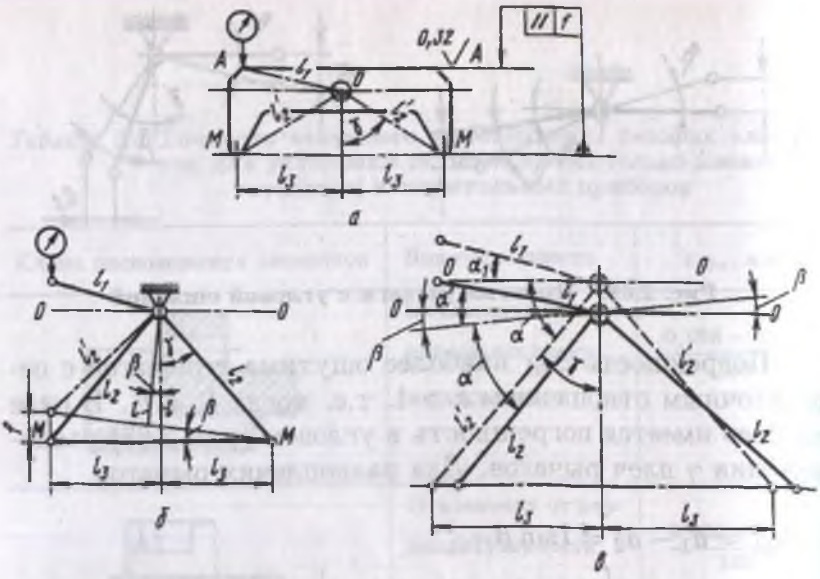


Рис. 2.69. Сложный рычаг (*а*) и его расчетные схемы (*б*, *в*)

Сплошными линиями на рис. 2.69, в показано горизонтальное положение подобного рычага, но с различными длинами плеч $l_2 \neq l_2'$. Передаточное отношение такого рычага $k_1 = \dfrac{l_1 \cos \alpha_1'}{l_2' \cos \alpha}$, где $\alpha_1' = \alpha_1 + \beta$; β – угол, образованный из-за различной длины плеч рычага.

Угол β получается вследствие поворота плоскости OO, когда концы рычага не занимают горизонтальное положение. Тогда

$$\Delta p_1 = \frac{k_1}{k} - 1 = \frac{l_2 \cos \alpha_1'}{l_2' \cos \alpha_1} - 1,$$

где

$$l_2' = l_2 \cos(\delta + \beta) / \left[\cos(\gamma - \beta)\right].$$

Если у данного рычага имеется еще и погрешность изготовления плеч l_3, то угол β будет еще больше.

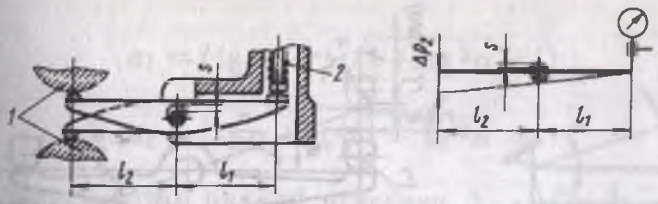


Рис. 2.70. Схемы для определения погрешности Δp_2:
1 – деталь; *2* – индикатор

Погрешность вследствие зазора между отверстием и осью рычага Δp_2. Даже если зазор S между осью и отверстием минимален, он будет оказывать серьезное влияние на точность измерения. Согласно схемам, представленным на рис. 2.70, имеем

$$\Delta_{p_2} = \frac{s(l_1 + l_2)}{l_1} = S(1 + k),$$

где $k = l_2/l_1$.

Из данного выражения следует, что зазор оказывает влияние на точность измерения даже при $k = 1$. Это влияние будет еще большим при $k > 1$.

Погрешность из-за непропорциональности между линейными перемещениями измерительного стержня и угловым перемещением рычага Δ_{p3}. Как правило в передачах одно плечо рычага перемещает измерительный стержень индикатора, совершающий поступательное движение, в то время как само плечо поворачивается на угол α. В этом случае возникает погрешность в передаточном отношении, которая зависит от непропорциональности линейного и углового перемещений. Линейное смещение щупа индикатора равно $a = l \operatorname{tg} \alpha$ (рис. 2.71, *а*). Чтобы выявить погрешность в передаточном отношении рычажных передач, разложим $\operatorname{tg} \alpha$ в ряд Тейлора:

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \frac{2}{15}\alpha^5 + \ldots,$$

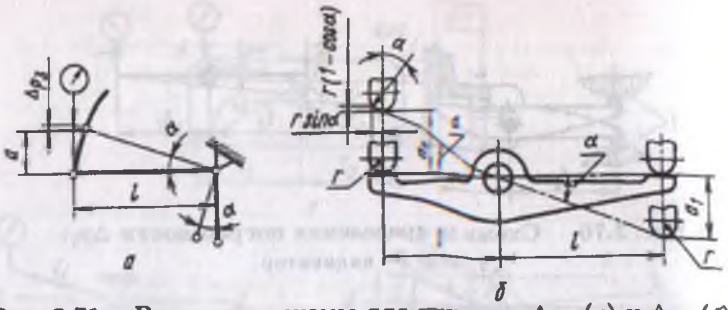


Рис. 2.71. Расчетные схемы для определения Δ_{p3} (*а*) и Δ_{p4} (*б*)

где угол α в радианах. Так как α значительно меньше единицы, то, пренебрегая величинами пятого порядка и выше, получим

$$\operatorname{tg}\alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3}.$$

Тогда

$$a = l\operatorname{tg}\alpha = l\alpha + l\frac{\alpha^3}{3},$$

откуда

$$\Delta_{p3} = \frac{l\alpha^3}{3}.$$

Погрешность из-за смещения точки контакта сферического наконечника при повороте плоского рычага Δ_{p4}. Рабочие концы плеч рычагов имеют точечный контакт со стержнем индикатора или с контролируемой поверхностью (рис. 2.71, *б*). Радиус $r = 2 \ldots 3$ мм. В этом случае неизбежно появление погрешности Δ_{p4} от смещения точки контакта, так как в ходе поворота рычага точка контакта перемещается по сфере радиусом r. При повороте рычага на угол α контакт плеч будет различным на двух его концах. В этих условиях появляется дополнительная погрешность, значение которой зависит от расстояний a_1 и a_2. Для равноплечего рычага ($l_1 = l_2$)

$$\Delta_{p4} = \frac{a_2}{a_1} - 1,$$

где

$$a_1 = l\,\mathrm{tg}\,\alpha - r(\sqrt{1 + \mathrm{tg}^2\alpha} - 1);$$

$$a_2 = l\,\mathrm{tg}\,\alpha + r(\sqrt{1 - \mathrm{tg}^2\alpha} - 1).$$

Погрешность прямой передачи Δ_{p5}. Очень часто в прямых передачах используют промежуточный стержень (рис. 2.72, *а*), который играет роль буфера между измерительным прибором и контролируемой деталью и защищает прибор от возможных толчков и ударов.

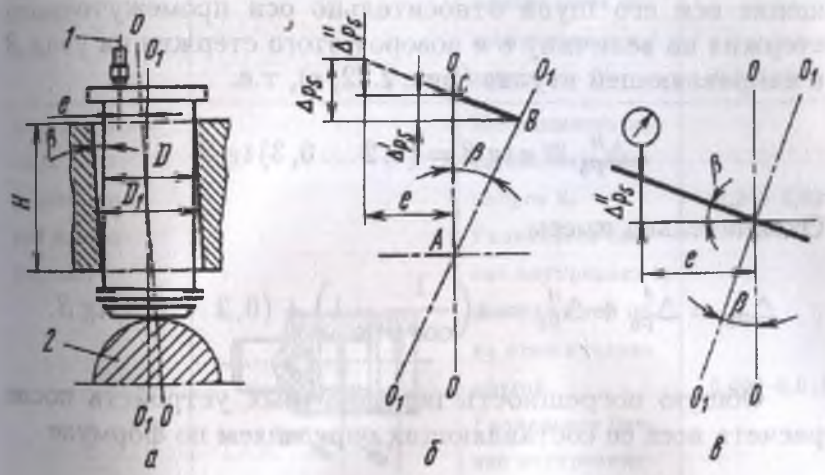


Рис. 2.72. Схема прямой передачи (*а*) и расчетные схемы для определения ее погрешности (*б*, *в*):
1 – ось индикатора; *2* – деталь

Причиной появления погрешности прямой передачи является зазор между стержнем и отверстием $S = D_1 - D$, а также смещение оси измерительного щупа относительно оси этого стержня на величину e. При перемещении стержня по направлению оси O_1O_1 на расстояние AB (рис. 2.72, *б*), щуп индикатора пройдет путь, равный AC.

Тогда

$$\Delta'_{p5} = AC - AB = \frac{AB}{\cos\beta} - AB = AB\left(\frac{1}{\cos\beta} - 1\right),$$

где

$$\beta = \operatorname{arctg}(S/H); \quad S = D_1 - D.$$

Как правило, $AB \cong a$, где a – измеряемая погрешность.

В ходе установки индикатора всегда имеется смещение оси его щупа относительно оси промежуточного стержня на величину e и поворот этого стержня на угол β в направляющей втулке (рис. 2.72, *в*), т.е.

$$\Delta''_{p5} \cong e\operatorname{tg}\beta = (0,2\ldots0,3)\operatorname{tg}\beta.$$

Окончательно имеем

$$\Delta_{p5} = \Delta'_{p5} + \Delta''_{p5} = a\left(\frac{1}{\cos\beta} - 1\right) + (0,2\ldots0,3)\operatorname{tg}\beta.$$

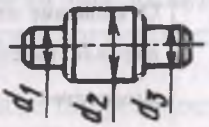
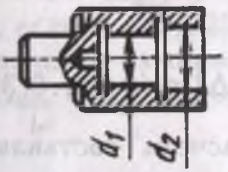
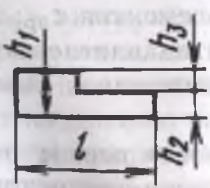
Общую погрешность передаточных устройств после расчета всех ее составляющих определяем по формуле

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta^2_{p1} + \Delta^2_{p2} + \Delta^2_{p3} + \Delta^2_{p4} + \Delta^2_{p5}}.$$

Определение погрешности изготовления эталона и погрешности измерительного прибора

Для определения погрешности изготовления эталона можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 2.7. Определение кинематической погрешности показывающего прибора подробно изложено в справочной литературе.

Таблица 2.7. **Погрешности изготовления эталонных деталей для настройки контрольных приспособлений**

Вид эталонной детали	Эскиз эталона	Вид погрешности	$\Delta_э$, мм
Оправка (валик)		Погрешность изготовления диаметров $d_1 \dots d_3$	0,004–0,015
		Биение шеек одна относительно другой	0,005–0,01
		Биение шеек относительно оси центров	0,005–0,01
Полная оправка (с внутренней базовой поверхностью)		Погрешность изготовления диаметров d_i	0,008–0,02
		Радиальное биение внутренних поверхностей одна относительно другой	0,008–0,015
		Радиальное биение внутренних поверхностей относительно наружных (или оси центров)	0,008–0,015
Прямоугольник (с базовой плоскостью для настройки)		Погрешность изготовления размеров h_i	0,01–0,02
		Отклонение от параллельности плоскостей	$\frac{0,004-0,008}{l}$

Окончание табл. 2.7

Вид эталонной детали	Эскиз эталона	Вид погрешности	$\Delta_э$, мм
Мерные плитки (плоскопараллельные)		Погрешность изготовления размера h	0,0001–0,0005
		Отклонение от параллельности плоскостей	$\frac{0,0001-0,0005}{l}$

2.8.4. Общая методика расчета погрешности контрольного приспособления

Погрешность контрольного приспособления определяют путем последовательного вычисления погрешностей, составляющих общую погрешность $\Delta_{мет}$, и сравнения ее с допустимым значением $[\Delta]_{изм}$:

$$\Delta_{мет} \le [\Delta]_{изм},$$

или

$$\sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_р^2 + \Delta_э^2 + \Delta_п^2} \le (0,2 \ldots 0,35)\,T.$$

Последовательность расчета составляющих общей погрешности следующая.

1. Определение погрешности положения детали в контрольном приспособлении ε: расчет погрешности базирования $\varepsilon_б$ для принятой схемы установки, определение погрешности закрепления $\varepsilon_з$, вычисление погрешности изготовления установочных элементов $\varepsilon_{пр_1}$ и погрешности взаимного расположения устанавливаемых элементов измерительных приборов относительно базовых элементов $\varepsilon_{пр_2}$ (см. табл. 2.5 и 2.6).

2. Определение погрешности передаточных устройств приспособлений $\Delta_р$: нахождение погрешности от неточности изготовления плеч $\Delta_{р_1}$ (для рычагов простой или

сложной формы); определение погрешности от зазора между отверстием и осью рычага $\Delta_{р2}$; расчет погрешности, вызываемой непропорциональностью между линейным перемещением измерительного стержня и угловым перемещением рычага, $\Delta_{р3}$; определение погрешности от смещения точки контакта сферического наконечника при повороте плоского рычага $\Delta_{р4}$; вычисление погрешности прямой передачи $\Delta_{р5}$ (если она имеется); суммирование всех составляющих общей погрешности передаточных устройств $\Delta_р$.

3. Нахождение погрешности изготовления эталонных деталей $\Delta_э$.

4. Определение собственной погрешности измерительного прибора $\Delta_п$.

5. Определение общей погрешности контрольного приспособления $\Delta_{мет}$.

Так как общая погрешность контрольного приспособления $\Delta_{мет}$ составляет 20...35 % от допуска на изготовление изделия, то отбраковку деталей в этом приспособлении следует производить не по значению допуска, а по значению $\Delta_{кон} = T - \Delta_{мет}$.

Например, если $T = 0,025$ мм, а $\Delta_{мет} = 0,005$ мм, то допускаемое значение на шкале измерительного прибора должно быть $\Delta_{кон} = 0,025 - 0,005 = 0,02$ мм.

2.9. УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫЕ И ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Переналаживаемые приспособления многократного применения позволяют быстро и многократно собирать их для различных видов механической обработки из набора стандартизованных деталей и сборочных единиц. Это обеспечивает повышение производительности труда, способствует внедрению высокопроизводительных методов обработки, расширяет технологические возможности станков, снижает сроки подготовки технологической оснастки.

К стандартизованным приспособлениям многократного применения относят универсально-сборные (УСП) и сборно-разборные приспособления (СРП), общемашиностроительный комплекс универсально-сборной и переналаживаемой оснастки (УСПО), универсально-наладочные (УНП) и специализированные наладочные приспособления (СНП), а также их разновидности и модификации.

Компоновки УСП собирают из готовых нормализованных, взаимозаменяемых деталей и сборочных единиц.

Элементы системы УСП формируют в комплекты, номенклатурный и количественный состав которых зависит от характера и объема выпускаемой предприятием продукции и колеблется от 4 до 50 и более тысяч элементов. Применяют комплекты УСП с шириной паза соответственно 8, 12 и 16 мм. Ширину паза используют для обозначения серии комплекта. Техническая характеристика комплектов УСП приведена в табл. 2.8.

Используя комплекты всех серий можно собирать (компоновать) УСП для различных типов станков. Каждый элемент за год применяют в компоновках от 60 до 100 раз.

Элементы УСП по функциональному назначению делят на шесть групп:

1) базовые (плиты, угольники, оправки и др.);

2) корпусные (опоры, призмы и др.);

3) установочно-направляющие (шпонки, пальцы, кондукторные втулки и др.);

4) крепежно-прижимные (прихваты, планки, болты, гайки и др.);

5) разные (вилки, оси и др.);

6) сборочные единицы (поворотные головки, зажимные устройства и др.).

На сопрягаемых (рабочих) плоскостях основных элементов УСП имеется сетка взаимно перпендикулярных П- или Т-образных пазов. По способу "шпонка – паз" с минимально гарантированным зазором осуществляется взаимная ориентация элементов. К точности эле-

Таблица 2.8. **Техническая характеристика комплектов УСП**

Характеристика	Серия комплекта		
	УСП-8	УСП-12	УСП-16
Ширина шпоночного паза и его допустимое отклонение	8Н7	12Н7	16Н7
Допустимое отклонение шпонки	h6	h6	h6
Диаметр основной крепежной резьбы, мм	М8	М12×1,5	М16
Шаг между пазами, мм	30	60	90
Среднее время сборки одного приспособления, ч	1,5	3	6
Габаритные размеры обрабатываемых заготовок, мм:			
длина	220	700	2500
ширина	120	400	2500
высота	100	500	1000
Наибольшая масса обрабатываемых заготовок, кг	3	60	3000
Наибольший диаметр обрабатываемых отверстий, мм	12	38	50

ментов УСП предъявляют высокие требования (см. табл. 2.8).

Базовые и корпусные детали изготовляют из стали 12ХН3А с последующей цементацией и закалкой до твердости $HRC_э$ 58...62, установочные – из стали У8А с закалкой до твердости $HRC_э$ 38...42.

Для обеспечения эффективного использования имеющегося парка оснастки созданы службы УСП, в штат которых входят конструкторы и слесари-сборщики. Роль конструктора в системе УСП сводится к разработке компоновочных схем сложных УСП и выполнению сложных расчетов (настроечных размеров), а также к конструированию специальных деталей. Сборку УСП выполняют по образцу, выполненному в металле или по заданной схеме, затем производят отладку приспособле-

ния, обработку пробных деталей и контроль их параметров.

Монтаж приспособления начинают с выбора основания, которое может состоять из одной или нескольких базовых плит, соединенных в каркас с помощью соединительных планок и угольников. С помощью шпонок и крепежных деталей корпусные элементы и сборочные единицы ориентируют и крепят на основании одно относительно другого.

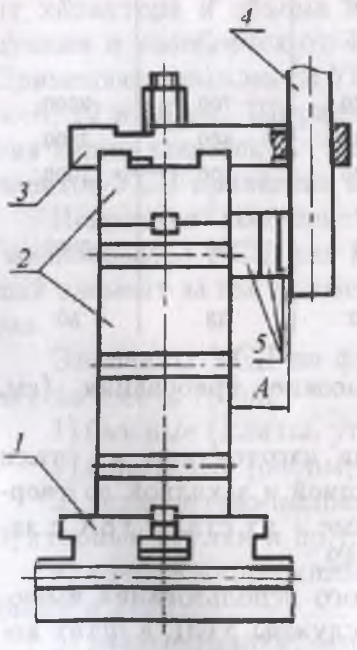


Рис. 2.73. Схема настройки на размер передвижной планки:
1 – плита; *2* – опоры; *3* – передвижная планка; *4* – валик; *5* – набор концевых мер длины

Если приспособление предназначено для выполнения сверлильных или расточных операций, в него вводят детали для направления режущего инструмента. При сборке приспособлений для токарных, карусельных и внутришлифовальных операций на вращающейся базовой плите должно быть предусмотрено место для установки корректирующего элемента, массу и положение которого определяют в процессе балансировки приспособления (допустимый дисбаланс – менее 0,01... ...0,05 Н·м).

Заключительным этапом компоновки приспособления является установка деталей, обеспечивающих точное положение УСП на станке. На рис. 2.73 дана схема настройки на размер *A* передвижной планки с отверстием под кондукторную втулку.

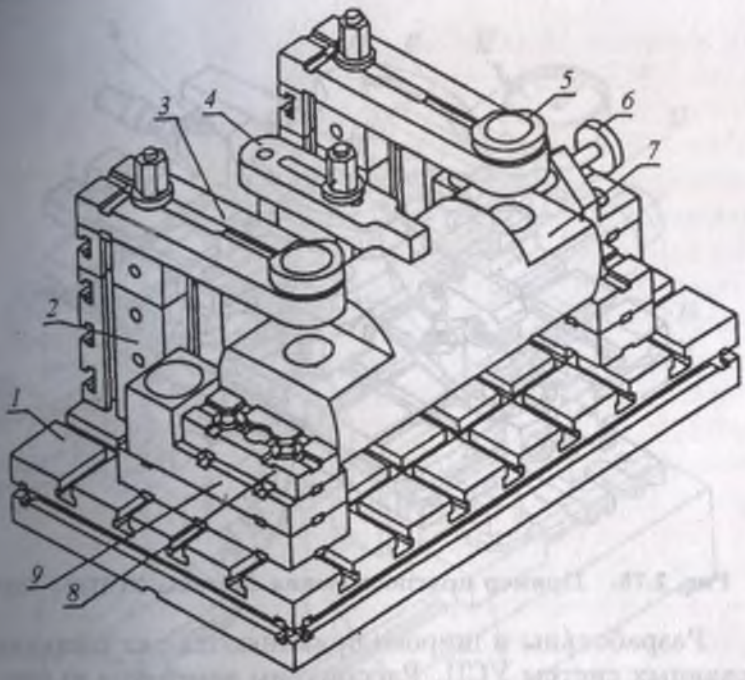


Рис. 2.74. Пример УСП для сверления двух отверстий

Для достижения максимальной точности, надежности и жесткости УСП необходимо увеличивать количество шпонок и крепежных болтов; при сборке не допускать подгонку элементов.

На рис. 2.74 приведен пример УСП для сверления двух отверстий в валике. Основанием служит прямоугольная плита *1*, на которой установлены две колонки из опор *2* с кондукторными планками *3*. Заготовка *7* базируется на две ступенчатые планки *9* и винтом *6* поджимается к планке *8*. Зажим производится прихватом *4*, а сверление отверстия через кондукторную втулку *5*.

К недостаткам УСП следует отнести пониженную жесткость элементов и компоновки в целом, высокую податливость крепежных элементов, не всегда достаточную точность фиксации, невысокий уровень механизации и высокую стоимость набора.

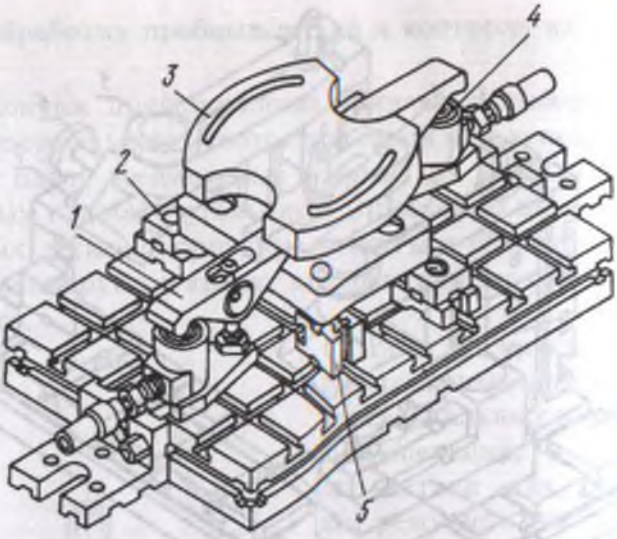


Рис. 2.75. Пример приспособления системы УСПМ – ЧПУ

Разработаны и широко применяются ряд специализированных систем УСП. Рассмотрим некоторые из них.

Универсально-сборные механизированные приспособления (УСПМ) предназначены для обработки заготовок (400 × 400 × 260 мм) на универсальных станках и станках с ЧПУ фрезерной и сверлильной групп. УСПМ выпускают двух видов: с пазом 12 мм (УСПМ-12 ЧПУ) и 16 мм (УСПМ-16 ЧПУ). Применяемые средства механизации обеспечивают их использование с элементами стандартных комплектов УСП соответствующего размера. Точность обработки в УСПМ соответствует *IT*6...8. Пример компоновки УСПМ-ЧПУ для фрезерования пазов показан на рис. 2.75. Заготовку *3* устанавливают по плоскости и двум отверстиям на планки *2*, *5* и два пальца. Закрепление осуществляется прихватами *1* от гидроцилиндров *4*.

Универсально-сборные контрольно-измерительные приспособления (УСКИП) и универсально-сборные многомерные контрольно-измерительные приспособления (УСМКИП) предназначены для измерения отклонений формы и взаимного расположения поверхностей крупнога-

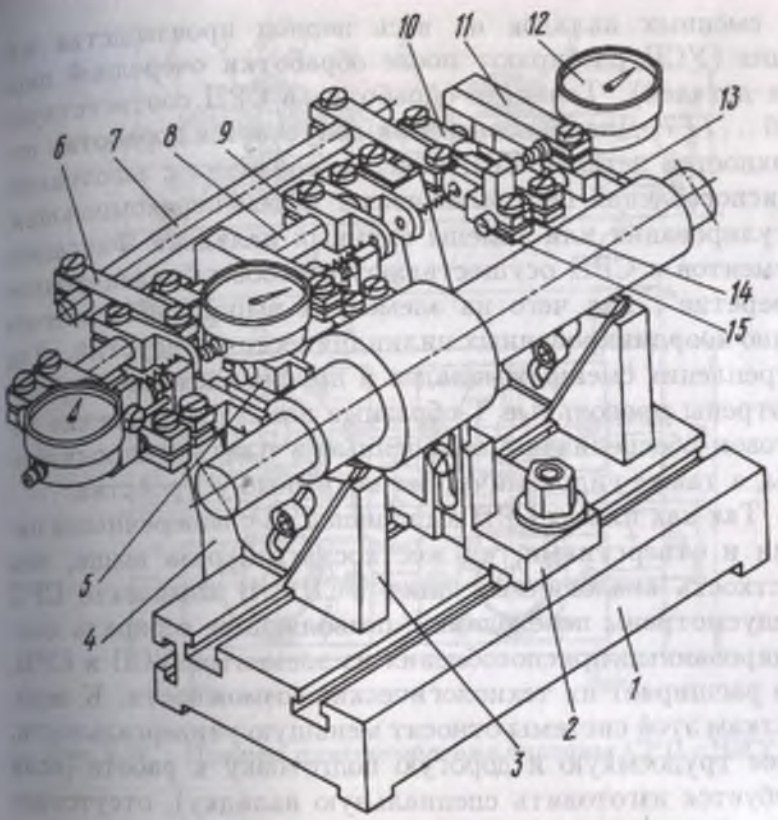


Рис. 2.76. Пример компоновки УСМКИП:
1 – плита; *2* – планка суппорта; *3* – призма; *4* – державка; *5, 13* – упоры; *6* – планка; *7, 8, 15* – валики; *9,10, 14* – зажимные планки; *11* – державка; *12* – индикатор

баритных деталей (УСКИП) и тел вращения (УСМКИП). Измерение производят индикаторами, миниметрами и индуктивными датчиками, погрешность измерения в пределах 0,005 ... 0,02 мм.

На рис. 2.76 приведен пример УСМКИП для контроля линейных размеров вала.

СРП являются разновидностью системы УСП. Основное отличие СРП от УСП заключается в том, что СРП собирают из деталей и сборочных единиц с применени-

ем сменных наладок на весь период производства изделия (УСП разбирают после обработки очередной партии деталей). Точность обработки в СРП соответствует $IT6 \ldots IT7$. Для ее повышения допускается доработка поверхностей деталей СРП, контактирующих с заготовкой. Приспособления переналаживают путем перекомпоновки, регулирования или замены сменных наладок. Фиксацию элементов в СРП осуществляют способом "палец–точное отверстие", для чего на элементах выполнены системы точно координированных цилиндрических отверстий. Для закрепления сменных наладок и других элементов предусмотрены продольные Т-образные пазы. Закрепление заготовок обеспечивают встроенные в плиты гидроцилиндры, а также гидравлические зажимные устройства.

Так как плиты СРП выполнены не с поперечными пазами и отверстиями, их жесткость в 2 раза выше, чем жесткость аналогичных плит УСП. В комплекте СРП предусмотрены переходники, позволяющие собирать комбинированные приспособления из элементов УСП и СРП, что расширяет их технологические возможности. К недостаткам этой системы относят меньшую универсальность, более трудоемкую и дорогую подготовку к работе (если требуется изготовить специальную наладку), отсутствие деталей для направления режущего элемента и др.

Для оснащения станков с ЧПУ разработаны два специализированных комплекта СРП: один – для многоцелевых и расточных станков, другой – для сверлильно-фрезерных. На рис. 2.77 показано четырехместное СРП для фрезерования лысок и сверления отверстий во фланцах на фрезерно-сверлильном станке с ЧПУ. Основанием приспособления служит гидрофицированная плита *1*, на которой установлены сменные наладки *2* с базированием на цилиндрический *11* и ромбический *12* пальцы, наладки закреплены болтами *6* и гайками *7*. Заготовки *8* устанавливаются на наладки и базируются отверстиями по втулкам *5*. Болты *4*, соединенные со штоками поршней *10* через быстросъемные шайбы *3*, закрепляют заготовку.

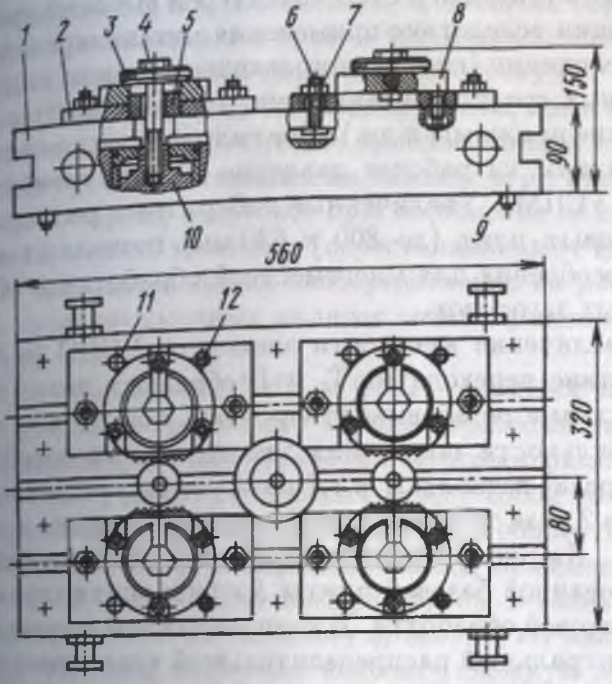


Рис. 2.77. Пример приспособления системы СРП – ЧПУ

Пальцы *9* служат для ориентации приспособления на столе станка.

Общемашиностроительный комплекс УСПО является новой системой переналаживаемого типа. УСПО предназначена для сборки приспособлений в серийном производстве деталей мелких и средних размеров на станках фрезерно-сверлильно-расточной групп.

В УСПО применяют беззазорное соединение элементов способом "цилиндрическое отверстие – пружинящее разрезное коническое кольцо – жесткий штифт с двумя конусами", которое обеспечивает высокую жесткость и точность сборки элементов и сохранение этой точности в течение всего периода работы УСПО.

Для комплекса УСПО характерен высокий уровень механизации вследствие применения механизированных сборочных единиц (гидрофицированные базовые плиты) и автономных средств механизации (гидроцилиндры, гидравлические прижимы и др.). Все гидравлические устройства рассчитаны на рабочее давление 20 МПа вместо 10 МПа как в УСПМ. Увеличенные габаритные размеры в плане базовых плит (до 800 × 630 мм) позволяют собирать приспособления для многоместной обработки и обработки крупных заготовок.

Увеличение жесткости элементов УСПО (в 1,3 раза) вследствие перехода от Т- и П-образных пазов к цилиндрическим и резьбовым отверстиям, повышение точности и стабильности положения элементов приспособления (в 2...3 раза) позволяют в 1,7 раза увеличить режимы резания и в 2 раза точность обработки заготовок по сравнению с УСП. На рис. 2.78 показана схема использования гидрофицированной базовой плиты *5* с гидроцилиндрами *1* при маятниковой обработке. В корпусе базовой плиты *5* выполнен центральный распределительный канал, состоящий из двух частей *а* и *б*, которые при одно- или многоместной обработке сообщаются между собой, а рабочая жидкость от источника высокого давления подается по одному из трубопроводов (*4* или *7*).

При маятниковой обработке деталей части *а* и *б* канала разъединены крышкой *6*. Рабочая жидкость подается

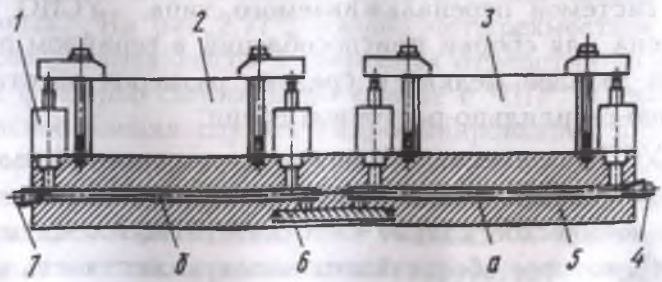


Рис. 2.78. Схема установки заготовок на гидрофицированной базовой плите при маятниковой обработке

по трубопроводам *4* и *7* независимо. В процессе обработки, например, заготовки *2* в правой части приспособления проводится замена готовой детали на заготовку *3*.

УНП и СНП состоят из базового агрегата, представляющего собой на 80 . . . 90 % готовое приспособление, и сменных наладок, устанавливаемых на базовом агрегате. При запуске новой партии заготовок приспособление не снимают со станка, а лишь заменяют (перестанавливают или регулируют) сменные наладки непосредственно на рабочем месте. В качестве сменных наладок можно использовать специальные детали.

Область применения УНП и СНП – серийное производство в условиях группового метода обработки заготовок. УНП используют для обработки заготовок различной геометрической формы, но сходных между собой по условиям базирования и закрепления, СНП – для обработки заготовок подобных по признаку базирования, закрепления и геометрической формы. При подборе группы деталей в качестве представителя, по которому проектируют наладочные приспособления, выбирают наиболее сложную деталь или разрабатывают "комплексную деталь", сочетающую в себе основные конструктивные элементы деталей этой группы.

К числу нормализованных приспособлений, на базе которых собирают наладочные приспособления, относят планшайбы, патроны, кондукторы, механизированные тиски и другие устройства.

2.10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Задачу автоматизированного проектирования приспособлений решают двумя методами: 1) использованием информационно-поисковых систем (ИПС) для поиска, расчета и последующего документирования типовых конструкций; 2) алгоритмическим синтезом конструкций

приспособлений на базе элементарных типизированных проектных решений, их графического и текстового документирования, ТПП и программирования процессов их изготовления на станках с ЧПУ в рамках единой автоматизированной проектирующей системы.

ИПС предназначена для взаимодействия с базой данных внешнего пользователя (технолога или конструктора). С помощью ИПС пользователь может вводить данные в базу, корректировать имеющиеся данные и вести поиск информации. Результаты поиска выводятся на печать или экран в форме заданных таблиц либо в форме, определенной поисковым предписанием (запросом). Составной частью ИПС является система управления базой данных, которая осуществляет ввод запроса в режиме диалога, синтаксический и семантический анализ запроса с последующим вызовом и управлением модулей ИПС, необходимых для обработки данного запроса.

Функциональная схема ИПС приведена на рис. 2.79. Содержание запроса *4* определяется требованиями производства *1*, техническими заданиями на разработку ТП *2* и конструирование оснастки *3*. Модуль поиска *6* при взаимодействии с базой данных *5* позволяет получить четыре разновидности решения запроса: однозначное решение *7*, с выдачей системой адреса одного приспособления; многовариантное решение *8*, требующее анализа вариантов и выбора рационального из них; типовое решение-аналог *9*, которое будет базовым для последующей доработки, и отказ *10* при отсутствии искомой информации.

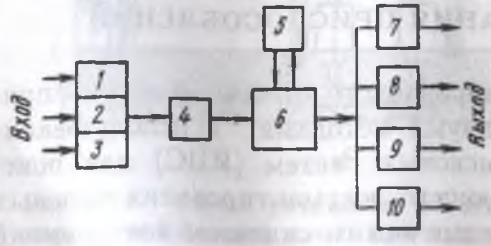


Рис. 2.79. Функциональная схема ИПС выбора приспособления

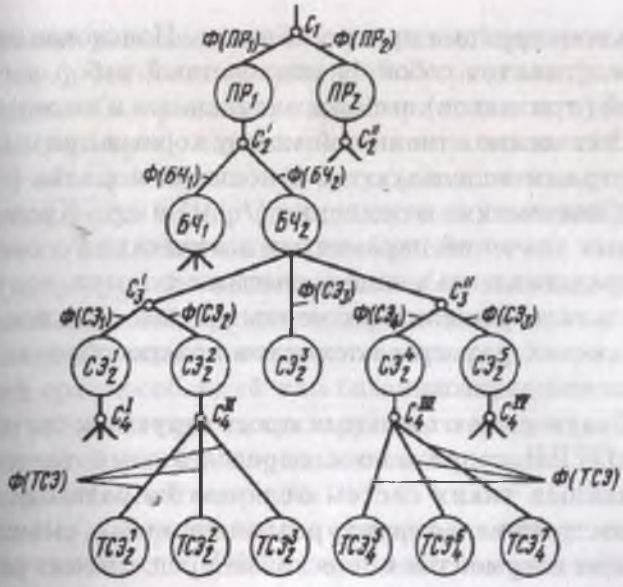


Рис. 2.80. Схема выбора приспособления для операции сверления отверстия:
ПР – типовая конструкция; *БЧ* – базовая часть; *СЭ* – сменный элемент; *ТСЭ* – типоразмер сменного элемента; *Ф*(...) – условия выбора элементов; *С* – узловые точки

Большое распространение получили ИПС, предназначенные для автоматизированного проектирования станочных приспособлений определенного класса.

Примером такой системы может служить ИПС выбора типовых конструкций приспособлений и их элементов при оснащении операций ТП обработки турбинных лопаток.

С помощью этой системы осуществляется выбор типовых компоновок наладочных приспособлений, имеющих базовую и наладочную части. На рис. 2.80 показан граф выбора приспособления для операции сверления отверстия. Процесс выбора разделен на два этапа: 1) выбор типовой конструкции и ее базового агрегата; 2) выбор наладочной части. Поиск элементов конструкции по заданным признакам осуществляется путем просмотра графа сверху вниз, результатом которого является спецификация эле-

ментов конструкции приспособления. Поисковое предписание представляет собой фиксированный набор логических условий (признаков) выбора, записанных в виде ключевых слов. В качестве отношений между кодами признаков и их параметрами используются отношения порядка ($>$, $<$, $=$ и т.д.), логические отношения ($\wedge$, $\vee$) и др. Кроме фиксированных значений параметров логические условия могут быть представлены в виде расчетных формул, получаемых в результате решения размерных цепей приспособления, включающих размеры элементов приспособления и обрабатываемой заготовки.

Объединение отдельных проектируемых систем в единую АСТПП сопряжено с определенными трудностями: базы данных таких систем отличаются разными принципами построения и структурными данными, смысловое содержание документов и поисковые предложения решаются различными входным и выходным языками, поиск элементов приспособлений затруднен и т.п.

Примером широкоспециализированной проектирующей системы, лишенной многих отмеченных выше недостатков, служит ИПС технологического назначения ТИС-81 *. Базы данных ТИС-81 "Детали", "Оснащение", "Технологические процессы", "Режимы резания", "Нормативно-справочная информация" и ряд других позволяют с помощью подсистем специального назначения решать широкий круг технологических задач: отработку изделий и их элементов на технологичность, группирование деталей, проектирование ТП и конструирование технологической оснастки, моделирование ТПП.

Выбор приспособления осуществляется в три этапа. На первом этапе определяется вид приспособления, при этом исходными данными являются: конструктивные характеристики (система УСП, СРП, УНП и т.п.), уровень механизации (ручной или механизированный привод); кон-

* Подробнее об этих системах см. в книге "Технологическая подготовка гибких производственных систем" (Л.: Машиностроение, 1987. 357 с.)

структивная разновидность (прихваты, делительная головка и др.); технологические характеристики (коды операций, схемы базирования, характеристики заготовки, габаритные размеры); характеристика производства (минимальный объем выпуска). В результате поиска по таблицам определяется номер группы данных, содержащей информацию о найденном приспособлении.

На втором этапе вызывается набор данных, принадлежащих найденной группе, и производится поиск по конструктивным, технологическим характеристикам номеров чертежей приспособлений или базовых агрегатов.

На третьем этапе анализируются параметры найденных приспособлений и определяется возможность их применения для данной операции.

Поиск и выбор технологической оснастки с помощью любой по сложности ИПС не приводит к проектированию принципиально новых конструкций станочных приспособлений. Однако эффективность использования САПР приспособлений находится в прямой зависимости от комплексности выполнения в ней проектных функций, таких как автоматизация конструирования и вычерчивания, разработка технологии и программ изготовления специальных элементов спроектированных приспособлений.

Результаты многочисленных теоретических и практических исследований позволили сформулировать методологию алгоритмического синтеза конструкций приспособлений, разработать основы теории комплексного решения задач конструкторско-технологической подготовки производства технологической оснастки, сформулировать принципы моделирования конструкций приспособлений и процессов их автоматизированного построения, сформулировать принципы и модели автоматизации ТПП и изготовления приспособлений и ряд других положений, послуживших основой для разработки комплексных САПР.

При автоматизированном проектировании приспособлений на базе унифицированных решений в ЭВМ вводят описания детали и оснащаемой операции (рис. 2.81), по ко-

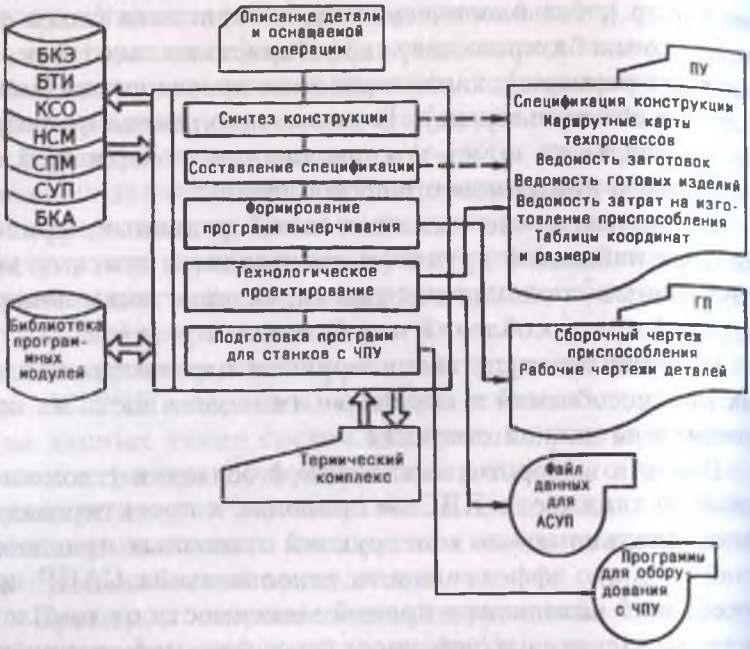


Рис. 2.81. Функциональная схема САПР приспособления

торым с помощью программ синтеза конструкций в ЭВМ генерируется цифровое описание приспособления. Управление передается блоку спецификаций, результаты работы которого выдаются печатающим устройством ЭВМ в виде стандартного документа и передаются в комплекс блоков формирования программ вычерчивания управляющим графопостроителем. В результате выдаются сборочный чертеж приспособления и рабочие чертежи деталей и печатаются спецификации, таблицы координат и размеров. Процесс завершается в подсистеме ТПП приспособлений, которая включает блоки технологического проектирования и подготовки программ обработки деталей приспособления для станков с ЧПУ. В результате на печатающем устройстве печатается технологическая документа-

ция, а на устройствах внешней памяти формируется информация для АСУП и выдаются программы управления станками с ЧПУ.

В составе постоянной информации предусмотрены: библиотека конструктивных элементов (БКЭ), библиотека типовых изображений (БТИ), каталог сведений об оборудовании (КСО), нормативно-справочные материалы (НСМ), спецификационные массивы (СПМ), сведения об условиях производства (СУП) и библиотека конструкций-аналогов (БКА) (см. рис. 2.81).

БКЭ содержит данные о наборе типовых конструктивных элементов (КЭ) – сборочных единиц и деталей. Каждому КЭ присваивают код, определяющий его функциональное назначение, тип, типоразмер, геометрическую форму, материал и другие характеристики. Каждый КЭ представляют графиком в виде типовых изображений (ТИ). На базе БТИ формируют чертежи приспособлений, генерируемых системой. Каждое типовое изображение обладает автономной системой координат, имеет свой код, определенную систему простановки размеров и т.п.

Общие задачи автоматизированного проектирования включают: 1) преобразование информации из одной формы в другую; 2) инженерные расчеты (на точность, жесткость, виброустойчивость, прочность и т.д.); 3) выбор схемы конструкции, типов и типоразмеров КЭ; 4) определение числа КЭ и расположения в пространстве; 5) уточнение расположения КЭ; 6) уточнение размеров и формы КЭ из условий их непересечения с другими элементами приспособления; 7) поиск и редактирование данных в информационных массивах.

В интерактивных проектирующих системах функции проектирования распределены между человеком и ЭВМ. За ЭВМ рационально закрепить производство расчетов, поиск информации и ее отображение в цифровом и графическом виде, преобразование информации из одной формы представления в другую, построение схем функциональных групп КЭ, предварительную компоновку КЭ, эконо-

мическую оценку конструкции и др. За пользователем (конструктором) рационально оставить оценку принятых решений; окончательное определение состава и структуры КЭ и конструкции в целом, доработку компоновки приспособления и ряд других функций.

Рассмотренный метод алгоритмического синтеза приспособлений реализован в САПР "Кондуктор-1", "Кондуктор-2ЕС", "Кондуктор-3", "Токарь-1М", которые применяют в различных отраслях машиностроения. Использование таких систем сокращает время проектирования в 8...10 раз и стоимость проектирования в 7...8 раз.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите способы уменьшения и исключения погрешности базирования при установке по плоскости, в призму, в центры и т.д.
2. Дайте характеристику двух типов зажимных устройств приспособлений. У зажимных элементов какого типа раньше наступит момент отрыва от опор и почему?
3. Приведите расчетные зависимости для определения силы закрепления в следующих случаях: а) при наличии сдвигающей силы, б) при наличии сдвигающей силы и силы, направленной к зажимному устройству, в) при наличии осевой силы и момента резания.
4. В чем состоит основной принцип и последовательность расчета простейших зажимных механизмов (например, эксцентриковых)?
5. Приведите последовательность расчета при использовании пневмокамер различного вида.
6. Какую роль играют кондукторные втулки? Назовите основные типы и материалы для их изготовления.
7. Назовите основные этапы проектирования специального станочного приспособления.
8. В чем сущность и задачи основных этапов проектирования сборочной оснастки?
9. Что такое погрешность измерения и из чего складывается общая погрешность контрольного приспособления?
10. Проанализируйте появление погрешности базирования детали в контрольном приспособлении для различных схем установки (например, на разжимную оправку).

11. Что такое погрешность передаточных устройств и какие факторы ее определяют?

12. Приведите общую методику расчета точности контрольного приспособления.

13. Какие системы стандартизованных приспособлений применяют в машиностроении; укажите их основные достоинства и недостатки?

14. В чем сущность основных методов автоматизации проектирования приспособлений?

Глава 3

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

3.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАК ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

3.1.1. Особенности технологических процессов в машиностроении

Технологические процессы в машиностроении – это сложные динамические системы, в которых в едином комплексе взаимосвязаны оборудование, инструмент, обрабатываемые заготовки (собираемые узлы), СТО, вспомогательные и транспортные устройства, а также рабочие (операторы, сборщики).

ТП должен обеспечивать заданные качество продукции и производительность труда, а также стабильность качества во времени, необходимом для выпуска продукции в требуемом объеме. К управлению ТП в машиностроении применимы общие положения теории управления.

Любая система управления состоит из объекта управления и управляющего устройства. Объектом управления являются ТП, операция, технологическая система и т.д. Управляющим устройством может быть техническое устройство (например, автоподналадчик), а в случа-

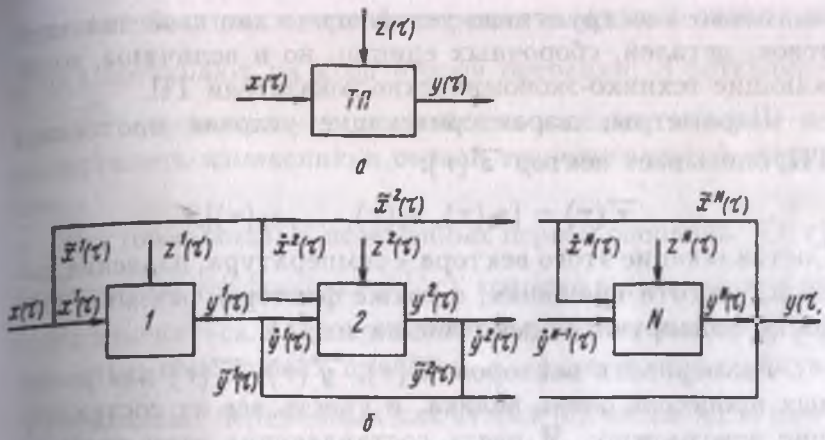


Рис. 3.1. Схема представления ТП без разделения (*а*) и с разделением на технологические операции (*б*) (1, ..., N – порядковый номер технологической операции)

ях, если объектом управления является ТП – система ТПП, в которой вырабатываются управляющие решения.

В общем случае ТП в машиностроении представляют в виде многомерного объекта (рис. 3.1, *а*), на входе которого действует вектор входных переменных $\overrightarrow{x}(\tau)$:

$$\overrightarrow{x}(\tau) = [x_1(\tau), x_2(\tau), \ldots, x_n(\tau)].$$

Составляющие вектора характеризуют прежде всего полный набор свойств заготовок и полуфабрикатов (размеры и их отклонения, шероховатость и микротвердость поверхностей, структурные параметры и т.д.), используемых в данном объекте. Выходные переменные описывает вектор

$$\overrightarrow{y}(\tau) = [y_1(\tau), y_2(\tau), \ldots, y_m(\tau)].$$

Составляющие этого вектора характеризуют, например, свойства готовой детали (точность размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, шероховатость поверхностей, их микротвердость и т.д.). Составляющими как входного, так и выходного векторов могут быть

не только конструктивно-технологические свойства заготовок, деталей, сборочных единиц, но и величины, отражающие технико-экономические показатели ТП.

Параметры, характеризующие условия протекания ТП, описывает вектор $\vec{z}(\tau)$:

$$\vec{z}(\tau) = [z_1(\tau), z_2(\tau), \ldots, z_k(\tau)].$$

Составляющие этого вектора – температура, давление, подача, частота вращения, а также факторы, оказывающие дестабилизирующее действие на ход ТП.

Размерность векторов $\vec{x}(\tau)$, $\vec{y}(\tau)$, $\vec{z}(\tau)$ для реальных процессов очень велика, и учесть все их составляющие невозможно. И часть составляющих этих векторов рассматривают как случайные функции.

Вектор $\vec{x}(\tau)$ включает как измеряемые, так и не измеряемые входные переменные. Некоторые из них могут быть управляющими и характеризовать, например, параметры заготовок или ТП. Учесть все входные переменные, влияющие на ход процесса и выходные переменные, невозможно. Практически ограничиваются только небольшой частью основных входных переменных, определяющих выходные переменные, а остальные относят к неконтролируемым факторам. Задача управления состоит в компенсации влияния этих факторов.

ТП представляет собой структуру последовательно соединенных элементов – технологических операций. Каждая операция характеризуется собственными, только ей присущими векторами входных и выходных переменных $\vec{x}^j(\tau)$ и $\vec{y}^j(\tau)$, а также вектором условий $\vec{z}^j(\tau)$. Размерность векторов входных и выходных переменных для операций значительно меньше, чем размерность одноименных векторов ТП.

Составляющая вектора входных переменных первой технологической операции является только частью составляющих вектора входных переменных ТП (рис. 3.1, *б*):

$$\vec{x}^1(\tau) \in \vec{x}(\tau), \quad \vec{x}^1(\tau) \not\equiv \vec{x}(\tau).$$

Неиспользованные в первой операции входные переменные $\vec{\tilde{x}}^1(\tau)$ поступают на вход второй операции. Составляющая $\vec{\tilde{x}}^1$ характеризует те свойства изделия, которые не подвергались изменению в первой технологической операции.

Вектор выходных переменных первой операции $\vec{y}^1(\tau)$ включает составляющую $\vec{\tilde{y}}^1(\tau)$, которая в дальнейшем не будет изменяться и непосредственно войдет в вектор $\vec{y}(\tau)$ выходных переменных процесса, а также составляющую $\vec{\dot{y}}(\tau)$ входных переменных для второй операции. Для множества составляющих вектора $\vec{y}^1(\tau)$ справедливо

$$\vec{y}^1(\tau) = \vec{\tilde{y}}^1(\tau) \cup \vec{\dot{y}}^1(\tau),$$

где $\cup$ – символ объединения множеств.

Другой составляющей для второй операции является вектор $\vec{\dot{x}}^2(\tau)$, выделяемый как составляющая вектора $\vec{\tilde{x}}^1(\tau)$:

$$\vec{\dot{x}}^2(\tau) \in \vec{\tilde{x}}^1(\tau), \quad \vec{\dot{x}}^2(\tau) \not\equiv \vec{\tilde{x}}^1(\tau).$$

Вектор входных переменных для второй технологической операции $\vec{x}^2(\tau)$ имеет вид

$$\vec{x}^2(\tau) = \vec{\tilde{y}}^1(\tau) \cup \vec{\dot{x}}^2(\tau).$$

Неиспользованные на второй операции входные переменные ТП поступают на вход третьей операции – составляющая $\vec{\tilde{x}}^2(\tau)$.

Вектор выходных переменных ТП

$$\vec{y}(\tau) = \vec{\tilde{x}}^N(\tau) \cup \vec{y}^N(\tau) \cup \left(\bigcup_{j=1}^{N-1} \vec{\tilde{y}}^j(\tau)\right),$$

где $\vec{\tilde{x}}^N(\tau)$ – составляющие вектора входных переменных $\vec{x}(\tau)$, обозначающие неиспользованные в ТП входные переменные, например параметры качества необрабатываемых поверхностей заготовок; $\vec{y}^N(\tau)$ – вектор выходных переменных последней (N) операции ТП; $\vec{y}^j(\tau)$ – составляющая вектора выходных переменных процесса, формируемая на промежуточных операциях, например параметры качества поверхностей, обработанных на некоторой операции и далее не обрабатывающихся.

Практически каждая составляющая вектора выходных переменных ТП формируется на нескольких операциях. Однако принято считать, что доминирующее влияние на составляющие вектора выходных переменных, характеризующие параметры качества готовой детали, оказывают финишные операции.

Среди величин, описывающих ход ТП, выделяют наблюдаемые и управляемые переменные.

Наблюдаемые переменные воздействуют на объект в качестве возмущающих (дестабилизирующих) факторов и при управлении объектом не могут быть изменены. Это, например, вибрации оборудования, характеристики среды (температура, влажность), напряжение в сети и т.д.

Параметры наблюдаемых переменных при наличии соответствующих датчиков могут быть определены, но воздействовать на них при управлении ТП невозможно либо сложно и дорого. Число наблюдаемых переменных колеблется (от единиц до десятков). Степень влияния этих переменных на работу системы управления при фиксированном управлении изменяется тоже в широких пределах.

Управляемые переменные могут быть изменены системой управления или человеком. Для технологической системы к таким переменным можно отнести, например, погрешности, вызываемые геометрическими неточностями оборудования, жесткость технологической системы, износ инструментов, параметры процессов резания. Хотя, в

принципе, все управляемые переменные могут быть изменены, возможность и целесообразность такого изменения следует определять в каждом конкретном случае.

Выделение этих двух групп среди воздействующих на систему входных переменных связано с тем, что математическое описание объекта по переменным из разных групп требует различных методов.

ТП в машиностроении имеют вероятностный характер, поэтому измеряемые входные переменные не определяют однозначно выходные параметры процесса.

ТП серийного и массового типов производства, если они спроектированы правильно, представляют собой достаточно устойчивые детерминированные системы. Нарушения работы таких систем происходят по двум основным причинам:

1) изменение параметров процесса (режимов резания; характеристик заготовки и т.п.);

2) износ оборудования и технологической оснастки.

Значительный разброс составляющих вектора выходных переменных ТП отчасти объясняется наличием операций и переходов, выполняемых при управлении непосредственно человеком. С повышением степени автоматизации процесса разброс составляющих вектора выходных переменных снижается.

Влияние, оказываемое на ход ТП действием факторов - составляющих векторов входных переменных и векторов условий, – неравноценно. Всегда можно выделить ряд факторов, оказывающих доминирующее влияние на ход ТП. Успех управления зависит от того, удается ли в полной мере выявить все множество указанных факторов и определить для каждого из них степень влияния на ход ТП.

ТП в машиностроении имеют определенную направленность. При их протекании абсолютные значения параметров качества, характеризующих геометрические свойства объекта (отклонения размеров, формы, взаимного расположения, шероховатость поверхностей и т.п.), от операции к операции уменьшаются. Значения параметров

качества, описывающих объемные свойства материала, наоборот, возрастают, особенно после операций химико-термической обработки. Выполнение операций химико-термической обработки приводит к увеличению абсолютных значений отклонений размеров, формы и т.д. Различная физическая природа технологических операций требует различных подходов к выполнению функций управления.

Специфической особенностью процесса сборки изделий машиностроения является возможность целенаправленного управления качеством сборочных единиц и изделия в целом на основе селекции деталей по группам с целью обеспечения наилучших условий работы сопрягаемых деталей и сборочных единиц в условиях эксплуатации. Для этого в процессе сборки ответственных изделий, как правило, предусматривают входной контроль деталей и агрегатов, а также операции по доводке ряда важных характеристик собранных узлов, например балансировку вращающихся элементов, уплотнение с заданными характеристиками стыков и сопряжений, нормирование усилий затяжки сопрягаемых элементов и т.д.

Многочисленность форм сопрягаемых деталей и узлов, большое число факторов, влияющих на качество собранного изделия, являются объективной причиной большой трудоемкости и сложности процессов сборки. Это же является причиной того, что управление процессом сборки является крайне сложным.

Реализация функции контроля и управления ТП сборки связана прежде всего с выполнением предварительного контроля деталей и сборочных единиц и далее с контролем качества сборки методами технологических испытаний, например статических испытаний на герметичность и плотность соединений, контроля балансировки, и легкости хода подвижных элементов, отсутствия заеданий и задиров и т.д. Другим аспектом указанной функции является индивидуальный отбор из имеющихся в наличии сопрягаемых деталей и сборочных единиц для обеспечения близ-

ких к оптимальным характеристик сопряжений во всем изделии при условии использования всех деталей. Это позволяет изготавливать детали с более широкими допусками и собирать из них высокоточные изделия.

3.1.2. Моделирование технологических процессов

Математической моделью объекта управления называется конечное подмножество переменных $x(t)$, $z(t)$ вместе с математическими связями между ними и характеристиками выходных переменных $y(t)$ объекта.

Математические модели технологических объектов могут быть *детерминированными* и *стохастическими*. Если математическая модель не содержит элементов случайности или они не учитываются, то она называется детерминированной. В детерминированных моделях процесс или действие объекта описывается аналитическими выражениями, чаще всего системами дифференциальных или алгебраических уравнений.

В стохастических моделях процесс или действие объекта описывается стохастическими уравнениями, и физический смысл имеют не отдельные реализации процесса, а совокупность реализаций и их параметры (математическое ожидание, дисперсия, корреляционная зависимость и т.д.).

При моделировании ТП, как это отмечалось ранее, исследуют три группы факторов:

1) факторы, не допускающие их целенаправленного изменения в ходе построения модели и управления (твердость, состав, структура материала и т.п.);

2) управляемые факторы, с помощью которых реализуются заданные условия работы объекта (режимы обработки, характеристики оборудования и оснастки и т.п.).

3) неконтролируемые входные или независимые факторы, характеризующие действующие на объект возмущения (неконтролируемые изменения химического состава,

температуры, изменение свойств оборудования и оснастки во времени и т.п.).

В моделях обычно учитывают только факторы первых двух групп. Действие неконтролируемых факторов приводит к дрейфу характеристик модели объекта (значений отклика).

Математическая модель объекта управления должна отвечать требованиям универсальности, точности, адекватности и экономичности.

Универсальность математической модели характеризует полноту отражения в ней свойств реального объекта. Математическая модель отражает лишь некоторые свойства объекта.

Точность модели определяется степенью совпадения значений параметров реального объекта и значений тех же параметров, рассчитываемых с помощью оцениваемой математической модели.

Адекватность модели – способность отображать заданные свойства объекта с погрешностью не выше заданной. Адекватность модели имеет место, как правило, лишь в ограниченной области изменения входных переменных.

Экономичность модели характеризуется затратами вычислительных ресурсов (времени работы и требуемой памяти ЭВМ) на ее реализацию.

Математические модели ТП, разрабатываемые для управления последними, должны отвечать следующим требованиям:

1) обеспечивать получение необходимого набора оценок с требуемой точностью и достоверностью;

2) позволять воспроизведение различных ситуаций при варьировании структурой и параметрами модели;

3) иметь блочную структуру, допускающую возможность замены, исключения частей модели при выдерживании общей структуры модели;

4) иметь, по возможности, минимальную длительность разработки и реализации модели.

При описании и решении задач управления ТП используют модели различных классов.

Линейные модели являются наиболее распространенными. Для многих составляющих вектора $\overrightarrow{y}_i$ выходных переменных, в особенности, характеризующих параметры качества обработки (погрешности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, волнистость, микротвердость и т.д.), связь с входными переменными x_j, представляющими аналогичные параметры заготовки, и вектором условий z_l, характеризующим, например, параметры режима обработки, жесткость, процессы развития во времени элементарных погрешностей обработки и т.д., может быть представлена либо линейными, либо допускающими линеаризацию зависимостями:

$$y_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j + \sum_{l=1}^{k} b_{il} x_l, \quad i = 1, m,$$

где a_{i0} – постоянные составляющие входных переменных, включающие систематические погрешности преобразующей системы, которые могут быть исключены настройкой процесса; a_{ij}, b_{il} – коэффициенты влияния входных переменных и условий протекания процесса на i-ю составляющую вектора выходных переменных соответственно.

При управлении часто используют модели состояния

$$\begin{cases} \dot{U} = g_1(t, U, x, \alpha); \\ y = g_2(t, U, x, \alpha), \end{cases}$$

где U – вектор состояния объекта; t – параметр времени; x – вектор входных переменных; α – вектор параметров объекта-модели; y – вектор выходных переменных.

Если функции g_1 и g_2 линейны, модель состояния также описывается линейной зависимостью. Наиболее часто линейная модель в пространстве состояний имеет вид

$$\begin{cases} \dot{U} = \mathbf{A}U + \mathbf{B}x; \\ y = \mathbf{C}U + \mathbf{D}x, \end{cases}$$

где **A**, **B**, **C**, **D** – матрицы параметров модели.

В представлении объекта управления стохастической моделью вместо описания связи между входными и выходными переменными используют уравнения связи между осредненными значениями этих переменных. В результате разработки стохастической модели должны быть определены математическое ожидание M выходной переменной относительно входной, а также дисперсия выходной переменной $D\{y(t)\}$, определяющая точность моделирования.

Для дискретного случая, когда входная случайная функция $x(S)$ может быть представлена значениями x_{S_1}, $x_{S_2}, \ldots, x_{S_m}$, связанными со значениями выходной переменной $y(t)$, математическое ожидание выходной переменной относительно x_{S_i}, $i = 1, \ldots, m$, будет функцией всех x_{S_i}

$$M\{y(t)/x_{S_1}, x_{S_2}, \ldots, x_{S_m}\} = f(x_{S_1}, x_{S_2}, \ldots, x_{S_m}).$$

Такое представление равноценно модели с одним выходом y и m взаимосвязанными входами x_i, которые представляют собой случайные величины.

В технологии машиностроения оценку модели (процесса) осуществляют сравнением среднеквадратического отклонения выходной переменной $\sigma\{y(t)\}$ с полем допуска этой переменной, причем $\sigma\{y(t)\} = \sqrt{D\{y(t)\}}$.

Чем больше значение $\sigma\{y(t)\}$, тем больше поле рассеивания и ниже качество, обеспечиваемое ТП, и наоборот. Путем сравнения полученных экспериментально статистических характеристик ТП с допустимыми можно оценить процесс и сделать соответствующие выводы о возможном качестве готовой продукции.

Для получения математических моделей статистических объектов, весьма характерных для технологии машиностроения, зачастую эффективно применение корреляционно-регрессионного анализа, суть которого изложена в гл. 4 тома 1 настоящего учебника.

3.2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.2.1. Основные задачи анализа

Анализ ТП, подобно управлению, можно выполнять на уровне процесса в целом либо на уровне отдельной технологической операции (технологической системы).

В зависимости от поставленной цели при выполнении анализа решают следующие основные задачи:

1. Оценивают ТП (или его элемент) по параметрам качества выпускаемой продукции.

2. Выделяют доминирующие факторы, оказывающие наиболее сильное влияние на выходные переменные объекта управления.

3. Локализируют места и устанавливают причину нарушения штатной работы объекта управления.

4. Дают оценку возможного развития причин нарушения штатной работы объекта управления во времени и прогнозируют его работу в дальнейшем.

Оценку ТП или его элемента проводят по отдельному параметру качества изделия (обычно по точности) либо по совокупности параметров качества. Оценку по параметрам точности, как правило, проводят на уровне технологической операции (технологической системы) или на уровне ТП в целом. При анализе точности и стабильности технологических операций определяют и уточняют модели формирования погрешностей обработки; модели изменения во времени точности, обеспечиваемой объектом; зависимости между параметрами изготавливаемой продукции и параметрами технологических систем; основные факторы, изменяющие точностные характеристики технологических систем, и т.д.

Анализ проводят, используя следующие показатели точности.

1. Коэффициент точности (по контролируемому параметру)

$$K_T = \omega / T, \qquad (3.1)$$

где ω – поле рассеяния, или разность максимального и минимального значений контролируемого параметра за установленное (контрольное) время; T – допуск на контролируемый параметр. При нормальном законе распределения контролируемого параметра

$$\omega = 6\sigma,$$

где σ – среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра.

Процесс или его элемент стабильно обеспечивают точность контролируемого параметра, если

$$K_T \leq K_{T0} \leq 1,$$

где K_{T0} – нормативное (предельное, технически обоснованное) значение K_T.

2. Коэффициент мгновенного рассеивания (по контролируемому параметру)

$$K_\rho(\tau) = \omega(\tau)/T,$$

где $\omega(\tau)$ – поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени τ.

3. Коэффициент смещения (контролируемого параметра)

$$K_{\text{см}}(\tau) = \overline{\Delta}(\tau)/T,$$

где $\overline{\Delta}(\tau)$ – среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в момент времени τ,

$$\overline{\Delta}(\tau) = |\overline{y}(\tau) - y_0|;$$

$\overline{y}(\tau)$ – среднее значение контролируемого параметра; y_0 – значение параметра, соответствующее середине поля допуска (при симметричном поле допуска значение y_0 совпадает с номинальным значением параметра $y_{\text{ном}}$).

4. Коэффициент запаса точности (по контролируемому параметру)

$$K_з(\tau) = 0,5 - K_{см}(\tau) - 0,5K_\rho(\tau).$$

При контроле точности должно выполняться условие

$$K_з(\tau) > 0.$$

Число одновременно действующих факторов, дестабилизирующих работу объекта управления может быть большим, степень же влияния их на выходные переменные может быть различна. Как правило, лишь небольшое число факторов оказывает существенное влияние на выходные переменные. Доминирующие факторы выделяют с целью использования их при построении моделей объекта управления, а также для разработки технологических мероприятий, непосредственно направленных на компенсацию действия указанных факторов. При выделении доминирующих факторов обычно используют методы экспертных оценок, случайного баланса и дисперсионного анализа.

Метод экспертных оценок основан на использовании опыта, знаний и интуиции экспертов. Каждому из группы выбранных экспертов предлагают выделить факторы, влияющие на выходные переменные объекта, и расположить их в порядке убывания влияния. Получают ряд ранжированных множеств факторов (число множеств равно числу экспертов). После математической обработки результатов экспертизы с использованием ранговых критериев находят единственное множество факторов, ранжированных по степени их влияния.

Метод случайного баланса предназначен для выделения существенных факторов и их парных взаимодействий, причем сила воздействия факторов должна убывать по закону, близкому к экспоненциальному. Предполагается, что математическая модель объекта включает линейные эффекты и парные взаимодействия факторов:

$$y = a_0 + a_1x_1 + \ldots + a_nx_n + a_{12}x_1x_2 + \ldots$$
$$\ldots + a_{n-1\,n}\,x_{n-1}\,x_n + \varepsilon,$$

где a_0 – свободный член; a_i – коэффициенты при линейных членах $(i = 1, \ldots, n)$; $a_{ij}(i \neq j)$ – коэффиенты при парных взаимодействиях; ε – ошибка наблюдений. Задача состоит в таком изменении модели, чтобы она содержала лишь существенные факторы:

$$y = a_0 + a_1x_1 + \ldots + a_kx_k + a_{12}x_1x_2 + \ldots$$
$$\ldots + a_{k-1\,k}\,x_{k-1}\,x_k + \bar{\varepsilon},$$

где k – число существенных факторов $(k < n)$; $\bar{\varepsilon}$ – ошибка наблюдений, учитывающая также влияние отброшенных членов.

Упорядочение факторов по степени их влияния на целевую функцию и оценку коэффициентов модели выполняют в результате обработки данных эксперимента, проводимого по специальному плану. Построение плана эксперимента производят с помощью случайных чисел для установления последовательности уровней факторов в столбцах матрицы плана. Число опытов может быть произвольным, но, по крайней мере, равным числу ожидаемых значимых эффектов.

Метод дисперсионного анализа основан на выявлении дисперсий отдельных факторов и сравнений их с дисперсией ошибки проведения эксперимента. Локализацию места и поиск причины нарушения штатной работы объекта управления можно выполнять в ходе активных или пассивных, лабораторных или промышленных экспериментов, а также при обработке их результатов. Решение данной задачи трудноформализуемо.

Оценка возможного развития причин нарушения штатной работы объекта управления во времени и прогноз его дальнейшей работы требуют создания моделей, содержащих в качестве аргумента время.

3.2.2. Аппарат анализа

Для выполнения анализа при контроле и управлении ТП можно использовать уже описанный аппарат регрессионного, дисперсионного, корреляционно-регрессионного анализов, а также общие принципы математической статистики, применяемые при оценке точности. Вместе с тем, разработан специализированный аппарат анализа, применяемый, например, при оценке ТП по параметрам качества продукции. Указанный аппарат описывает наиболее эффективные методы и приемы решения отдельных задач анализа.

Опытно-статистические методы определения параметров точности при выполнении технологических операций. Параметры точности, обеспечиваемые при выполнении технологической операции, опытно-статистическими методами определяют на основе статистической обработки результатов измерения какого-либо технологического параметра x_i партии из n обработанных деталей. Вычисляют среднеарифметическое значение $\overline{x}$ (например, размера) и среднеквадратическое отклонение σ.

При автоматизированном изготовлении деталей (например, в массовом производстве) условия выполнения операции могут изменяться достаточно быстро. В этом случае оценку точности проводят по результатам статистической обработки мгновенных выборок. В мгновенной выборке представлены, как правило, результаты измерений сравнительного небольшого (3... 10) числа деталей. При небольшом числе измерений σ можно вычислить по формуле

$$\sigma = \frac{R}{d_n},$$

где $R = x_{\max} - x_{\min}$ – величина размаха в мгновенной выборке; d_n – коэффициент, изменяющийся в зависимости от объема n мгновенной выборки и определяемый по табл. 3.1.

Таблица 3.1. **Значение коэффициента d_n**

n	d_n	n	d_n
2	1,12	11	3,173
3	1,693	12	3,258
4	2,059	13	3,336
5	2,326	14	3,407
6	2,534	15	3,472
7	2,704	16	3,532
8	2,847	17	3,588
9	2,970	18	3,640
10	3,078	19	3,689
		20	3,735

Для мгновенной выборки по формуле (3.1) можно определить коэффициент точности. При этом $\omega = R = x_{\max} - x_{\min}$.

Для оценки стабильности результатов выполнения операции во времени мгновенные выборки берут через определенные временные интервалы и по нескольким выборкам подсчитывают среднее значение $\overline{x}$ и среднеквадратическое отклонение σ:

$$\overline{x} = \frac{\sum_{j=1}^{m} \overline{x}_j}{m};$$

$$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_n}, \quad \overline{R} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} R_j,$$

где $\overline{x}_j$ – среднее значение j-й мгновенной выборки; m – число мгновенных выборок; R_j – величина размаха в j-й мгновенной выборке.

Оценку достоверности полученных значений параметров точности следует проводить методом доверительных интервалов. Доверительный интервал определяет те границы, в которых будет находиться контролируемый параметр x:

$$I_{\overline{x}} = (\overline{x} - \varepsilon,\ \overline{x} + \varepsilon); \quad \varepsilon = \frac{t_\gamma \sigma}{\sqrt{n}},$$

где t_γ – квантиль распределения Стьюдента, определяемый при заданной доверительной вероятности γ в зависимости от уровня значимости $\alpha = 1 - \gamma$ и числа степеней свободы $k = n - 1$; σ – среднеквадратическое отклонение в выборке. Значения квантилей распределения Стьюдента приведены в литературе, посвященной статистической обработке данных.

Выполнив выборки через фиксированные промежутки времени и выразив значение σ в зависимости от времени, получаем прогностическую модель, описывающую изменения точности во времени.

Метод случайных функций. Выполняют расчет характеристик случайного процесса изменения контролируемого параметра $y(\tau)$: математического ожидания $M\{y(\tau)\}$ и дисперсии $D\{y(\tau)\}$. Такой расчет можно проводить как для ТП в целом, так и для отдельных технологических операций. Исходные данные для вычисления $M\{y(\tau)\}$ и $D\{y(\tau)\}$ получают в ходе выборочного обследования не менее десяти реализаций ТП (или операции). Получают массив $\{x_i(\tau_j)\}$, в котором $i = 1, \ldots, n$ – порядковый номер реализации процесса; $j = 1, \ldots, m$ – порядковый номер детали, обработанной в каждой реализации (или моменты времени проведения измерений), $m \geq 10$.

Математическое ожидание $M\{y(\tau_k)\}$ и дисперсию $D\{y(\tau_k)\}$ для момента времени τ_k определяют по формулам

$$M\{y(\tau_k)\} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_j(\tau_k)}{n};$$

$$D\{y(\tau_k)\} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \left[x_j(\tau_k) - M\{y_j(\tau_k)\}\right]^2}{n-1},$$

где $y_j(\tau_k)$ – значение j-й реализации в момент времени τ_k; n – число реализаций.

Среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра

$$\sigma\{y(\tau_k)\} = \sqrt{D\{y(\tau_k)\}}.$$

Вычисленные по всем реализациям значения $M\{y(\tau_k)\}$, $D\{y(\tau_k)\}$, $\sigma\{y(\tau_k)\}$ аппроксимируют различными функциями (прямая, парабола и т.д.), используя метод наименьших квадратов.

Если мгновенное поле рассеяния контролируемого параметра постоянно в процессе обработки партии деталей, а уровень настройки постоянный или смещается по линейной зависимости, то каждую реализацию можно представить линейной функцией вида

$$\overline{x}_j(\tau_k) = v_j\tau_k + x_{0j},$$

где $\overline{x}_j(\tau_k)$ – значение уровня настройки в момент времени τ_k; $\tau_k = \tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_m$ – момент окончания обработки k-й детали; v_j – случайная величина скорости смещения уровня настройки; x_{0j} – случайная величина погрешности настройки j-й реализации.

Коэффициент точности для технологической операции вычисляют по формуле (3.1). При этом поле рассеяния ω определяют при смещении уровня настройки либо к верхнему, либо к нижнему предельному отклонению контролируемого параметра соответственно по формулам

$$\begin{aligned} \omega &= M\{y(\tau_k)\} - M\{y(\tau_1)\} + 3\sigma\{x(\tau_k)\} + 3\sigma\{x(\tau_1)\}, \\ \omega &= M\{y(\tau_1)\} - M\{y(\tau_k)\} + 3\sigma\{x(\tau_1)\} + 3\sigma\{x(\tau_k)\}. \end{aligned} \qquad (3.2)$$

Если отмечают недопустимое смещение уровня настройки, то необходим тщательный (например, дисперсионный) анализ причин с целью выявления вызвавших его доминирующих факторов. Выражения (3.2) можно рассматривать как прогностическую модель изменения выходных переменных объекта. Недостатком подобных мо-

делей является то, что они не связывают входные и выходные переменные и требуют аппроксимации результатов при прогнозе.

Кроме рассмотренных существуют иные методы, которые могут быть использованы при анализе ТП с позиции управления. Выбор конкретного метода определяется прежде всего полнотой информации об исследуемом объекте, достаточностью экспериментальных данных и выбранным подходом к исследованию объекта.

3.3. ФОРМИРОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

ТР, формируемые (принимаемые) при контроле и управлении ТП, являются основой для разработки конкретных технологических мероприятий, направленных на стабильное обеспечение качества продукции при выполнении конкретного ТП или его элемента. Эти решения должны быть конструктивными, т.е. представлять собой конкретные ответы на вопрос, что необходимо сделать для того, чтобы стабильно обеспечивать заданное качество продукции. По своей сути указанные ТР относят к синтезирующим (проектным) решениям, принимаемым на основе ранее принятых аналитических решений.

Различают формирование решений при контроле и управлении ТП.

1. В неавтоматизированном производстве (при изготовлении опытных, установочных контрольных партий; при установившемся серийном изготовлении продукции в неавтоматизированном производстве).

2. В автоматизированном (автоматическом) производстве, в котором полностью или частично реализован "безлюдный" режим работы.

В неавтоматизированном производстве ТР принимают по результатам выполнения соответствующей задачи и функции ТПП.

В автоматизированном производстве можно выделить первичные решения о выборе схемы (метода) управления и соответствующих технических средств, принимаемые при ТПП, и решения, формирующиеся автоматически управляющими устройствами в процессе работы.

Любую производственную систему, в которой реализован конкретный ТП, можно рассматривать как упорядоченную совокупность отдельных технологических систем, объединенную единой транспортной системой.

В составе производственной системы выделяют подсистемы, состояние которых оценивается одним параметром бинарного вида ("норма" – "отказ"), и подсистемы, состояние которых оценивается несколькими параметрами, которые могут иметь значения в пределах нескольких зон.

Подсистемы первого вида, к которым относятся, например, все подсистемы электроавтоматики, элементы транспортной системы и другие, не являются предметом рассмотрения настоящей книги, хотя ситуации, возникающие вследствие изменения их параметров, могут потребовать принятия соответствующего решения по управлению ТП.

К подсистемам второго вида относятся все технологические системы. В качестве изменяемых (выходных) параметров в них могут выступать размеры или отклонения размеров обработанных поверхностей, значения размерных элементарных погрешностей и т.п. На рис. 3.2 схематично показано расположение зон изменения параметров технологических систем. Если фактическое значение параметра $П \in \{П_{н\ min}, П_{н\ max}\}$, то система функционирует нормально, обеспечивая заданное качество продукции. Если $П_{р\ min} < П < П_{н\ min}$ или $П_{н\ max} < П < П_{р\ max}$, то система функционирует в зоне риска, обеспечивая заданное качество продукции. При этом, однако, существует реальная возможность такого смещения параметра П, которое приведет к потере качества продукции, что равносильно отказу системы.

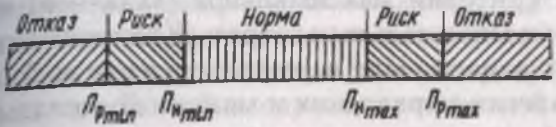


Рис. 3.2. Схема расположения зон изменения параметров технологических систем

Ситуация принятия решения возникает при смещении параметра П к границам зон риска $П_{р\,min}$, $П_{н\,min}$ или $П_{н\,max}$, $П_{р\,max}$.

Возникают следующие задачи, требующие формирования различных по характеру решений, а при их реализации – и различных стратегий управления.

1. Гарантированное обеспечение заданного качества продукции, что соответствует условию $П \in \{П_{н\,min}, П_{н\,max}\}$.

2. Обеспечение возврата к нормальной работе при $П_{р\,min} < П < П_{н\,min}$ и $П_{н\,max} < П < П_{р\,max}$.

3. Предотвращение неисправимого брака продукции и возникновения аварийных ситуаций при $П < П_{р\,min}$ или $П > П_{р\,max}$.

4. Ликвидация последствий отказа и восстановления нормальной работы после предотвращения аварийных ситуаций.

Исходными данными для формирования решений при контроле и управлении ТП являются:

1) модель объекта управления;

2) параметры текущего состояния объекта управления, определяющие нахождение самого объекта в одной из выделенных зон;

3) цель управления (задача принятия решения);

4) критерии оптимальности управления.

Параметры текущего состояния могут быть определены с помощью наиболее соответствующего ситуации метода анализа ТП.

Самыми распространенными критериями оптимальности управления для ТП механосборочного производства

являются критерии максимальной (заданной) производительности и минимальных затрат. Критерий оптимальности задает ограничение на осуществление выбора той или иной стратегии управления и может определяться, например, ценой потерь вследствие того, что заданное качество продукции не обеспечивается (потери от неисправимого брака, потери на исправление брака; потери, связанные с частотой появления брака и т.д.).

Иногда, если отклонения возникают по ряду составляющих вектора выходных переменных, целесообразно определение наиболее желаемого (приоритетного) порядка стабилизации параметров качества.

Формирование решения при управлении ТП машиностроения начинается с генерирования множества альтернативных решений. Практически для любого дестабилизирующего фактора можно априорно определить набор стандартных для данной ситуации ТР. В большинстве случаев искомое оптимальное решение находится среди них. Так, если установлено, что выходной параметр качества зависит в основном от погрешности закрепления заготовки в данной технологической операции, то возможными решениями, в той или иной степени устраняющими действие этого фактора, можно считать:

а) стабилизацию параметров качества исходных заготовок (прежде всего качества поверхностного слоя поверхностей, используемых как установочные базы);

б) стабилизацию условий закрепления заготовок (стабилизация силы зажима заготовок, выбор рациональной формы установочных элементов приспособления);

в) изменение схемы закрепления заготовки (обеспечение перпендикулярности силы закрепления выдерживаемому размеру);

г) принципиальное изменение схемы установки заготовки.

Многие из этих решений могут быть конкретизированы и сведены до элементарного уровня. Например, стабилизация силы зажима заготовки может быть достигнута

применением автоматизированного зажимного устройства (пневматического, гидравлического и т.д.) либо использованием специальных динамометрических устройств при ручном приводе. В любом случае желательной является генерация на первом этапе формирования решений их максимального числа, пусть даже и с различной степенью детализации. Такие множества создают для каждого параметра качества, стабилизация которого необходима.

Сформированное таким образом множество ТР просматривают с учетом ограничений, накладываемых условиями реализации ТП в конкретной производственной системе. В силу этих ограничений многие из предложенных решений не могут быть реализованы. Вместе с тем ограничения должны быть ранжированы по приоритету их "строгости". Строгое ограничение – это ограничение, которое не может быть снято ни при каких условиях. Некоторые же из ограничений в силу необходимости могут быть сняты. Обычно это происходит в случаях, если в множестве предлагаемых ТР не остается ни одного элемента. Так, решения об изменениях схем закрепления и установки могут быть отвергнуты при наличии уже изготовленного приспособления. Однако в случае необходимости уже изготовленное приспособление может быть заменено другим, сконструированным на основе принятого ТР.

Множество возможных решений, пройдя через фильтр ограничений, становится множеством допустимых решений. Указанные множества могут и совпадать. Множество допустимых решений должно иметь хотя бы один элемент, в противном случае может быть вновь создано новое множество возможных решений.

Альтернативные ТР из множества возможных решений ранжируют по предполагаемой эффективности. Просматривают множества возможных решений, ориентированные на обеспечение разных параметров качества. Решение, выполнение которого обеспечивает качество по ряду параметров, имеет максимальный приоритет.

Для каждого ТР с использованием модели объекта определяют ожидаемый результат (по выходным переменным). Дают комплексную оценку качества ТР. Выполняют тщательный анализ воздействия реализации принятого решения на другие составляющие вектора выходных переменных.

При наличии множества альтернатив ТР оптимизируют с учетом принятых критериев и формируют множество равноэффективных решений. В частном случае множество эффективных решений может состоять из одного ТР. Окончательный выбор решения из множества равноэффективных ТР осуществляет лицо, принимающее решение.

При необходимости стабилизации нескольких параметров качества возможен вариант, когда для стабилизации каждого из параметров необходима реализация самостоятельного ТР. В этом случае выполняют процедуру синтеза отдельных решений в комплексные, желательно меньшего числа или даже единственные. Успех выполнения этой процедуры зависит от опыта и знаний ее исполнителей. Если принятое ТР связано с применением нового СТО, то выдается задание на разработку необходимого информационно-технического обеспечения.

В ряде случаев принятие решения не требует строгого соблюдения описанной последовательности действий. Это происходит при достаточной очевидности причин отклонений качества и устраняющих их действие ТР.

Автоматические управляющие устройства формируют и реализуют управляющие решения, соответствующие конкретной ситуации, с использованием функциональных подсистем, показанных на рис. 3.3. Информация о состоянии объекта управления (ОУ) от датчиков (Д) поступает на вход подсистемы контроля (ПК). Результаты контроля в соответствии с принятой стратегией контроля, поступают в подсистемы диагностики (ПД) и принятия решений (ППР). Принятое решение в форме корректирующих воздействий передается в устройство с числовым программным управлением (УЧПУ) и далее, в формате сигналов

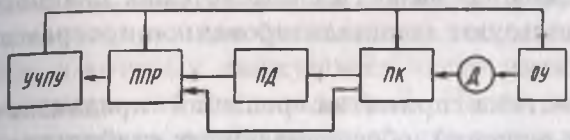


Рис. 3.3. Структура автоматизированного управляющего устройства

ЧПУ, к объекту управления. Сообщения о принятых и отработанных решениях, а также данные об изменениях контролируемых параметров как сигналы обратной связи поступают от устройства с ЧПУ к подсистемам принятия решений и контроля.

Целью рассмотренного устройства является обеспечение качества продукции при автоматической работе оборудования. Параметры качества можно измерять непосредственно на станке, в процессе обработки заготовки либо в специально выделенной контрольной позиции.

Подсистема диагностики предназначена для определения причины и места возможного отказа в технологической системе и выдачи информации для подсистемы принятия решений.

Необходимость диагностики при принятии обоснованных решений рассмотрим на примере контроля сил резания при точении. Измеряемый силовой параметр может находиться в зоне риска по следующим причинам: 1) затупление инструмента; 2) увеличенный припуск на обработку; 3) изменение твердости материала заготовки; 4) ошибка в управляющей программе.

В зависимости от причины подсистема принятия решения может принять одно из следующих решений: 1) сменить инструмент; 2) уменьшить глубину резания; 3) уменьшить величину подачи; 4) скорректировать управляющую программу, например путем генерации и введения исправленного кадра. Подсистема диагностики, по возможности, должна обеспечивать выдачу единственной причины. В противном случае определяется набор (меню) возможных причин, ранжированных по вероятности

их появления. В развитых подсистемах диагностики для этого используют специализированное программное обеспечение.

Подсистема принятия решений предназначена для принятия решений, обеспечивающих стабильное качество выпускаемой продукции при действии дестабилизирующих факторов, а также для обеспечения автоматического продолжения работы после случайного отказа или других нарушений функционирования объекта управления.

Условиями восстановления работоспособности в автоматизированных производственных системах являются:

1) наличие резервного механизма (подсистемы);

2) возможность восстановления отказавшего механизма (подсистемы);

3) возможность организации "обходного пути".

В производственных системах металлообработки, как правило, резервных механизмов нет. Определенный резерв имеется в инструментальном обеспечении при условии установки инструментов-дублеров. Можно резервировать заготовки в накопителях транспортных систем. При поломках или предельном износе инструмента, а также при невозможности продолжения начатой обработки подсистема принятия решений может выбрать следующие решения: 1) сменить инструмент и продолжить обработку той же заготовки, 2) забраковать обрабатываемую заготовку и заказать новую, 3) отложить начатую заготовку до появления "нового инструмента", 4) "рискнуть" и завершить обработку несмотря на сигналы о предельном износе. Решение принимается исходя из конкретных условий обработки: степени автоматизации системы, стоимости инструмента и заготовки, стоимости простоев оборудования, времени появления нарушений в работе объекта, состояния производственного плана и т.д.

Правильность принятого решения определяется степенью "интеллектуальности" программного обеспечения подсистемы.

Возможность восстановления нормальной работы после отказа характерна для большинства вспомогательных механизмов, в которых движущиеся части имеют склонности к заеданию или "непопаданию". Часто достаточно повторить движения, чтобы восстановить нормальную работу. Во всяком случае необходимо предусмотреть неоднократное повторение подобной попытки. Восстановление возможно и тогда, когда контроль детали зафиксировал неисправимый брак. В этом случае подсистема принятия решений должна обеспечить проведение необходимой соответствующей коррекции для того, чтобы качество изготовления следующих деталей было обеспечено.

Возможность организации "обходного пути" является сложной задачей ситуационного управления ТП, связанной с адаптацией к изменению производственной ситуации. Суть принимаемых при этом решений сводится к определению наиболее рационального в данных условиях продолжения ТП, в общем случае не совпадающего с заданным.

В более простых ситуациях возможности подсистемы принятия решений вполне достаточны для обеспечения нормальной работы объекта управления и производственной системы в целом.

3.4. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

3.4.1. Основные методы управления технологическими процессами

ТП представляет собой сложно организованную, целенаправленную структуру, элементами которой являются технологические операции.

Основную задачу управления ТП машиностроения можно сформулировать так (см. рис. 3.1): при известном векторе входных переменных $\vec{x}(\tau)$ и частично извест-

ном векторе условий $\vec{z}(\tau)$ найти такой вектор управления $\vec{U}(\tau)$, который гарантированно обеспечил бы выполнение условия

$$|\vec{y}_э(\tau) - \vec{y}(\tau)| \leq \vec{\delta}_y, \qquad (3.3)$$

где $\vec{y}_э(\tau)$ – эталонный вектор выходных переменных; $\vec{\delta}_y$ – фиксированный вектор ошибки выходных переменных.

Вектор $\vec{x}(\tau)$ считается известным, так как при необходимости может быть проконтролирована или определена любая его составляющая. Вектор условий $\vec{z}(\tau)$ включает составляющие, которые могут быть заданы, например режимы обработки, а также составляющие, характеризующие действие факторов, дестабилизирующих процесс. Выявление и определение закономерностей изменения этих факторов представляет определенные трудности, а иногда и невозможно. Поэтому следует считать вектор $\vec{z}(\tau)$ частично определенным. Изменение составляющих вектора $\vec{x}(\tau)$ может отразиться на составляющих вектора $\vec{z}(\tau)$. Например, увеличение припуска на поверхности заготовки неизбежно вызовет увеличение сил резания и, как следствие, рост значений ряда составляющих суммарной погрешности обработки, которые можно рассматривать как составляющие вектора $\vec{z}(\tau)$.

При отсутствии управления векторы входных переменных и условий определяют вектор выходных переменных. Поэтому одним из методов обеспечения стабильных значений составляющих вектора выходных переменных является стабилизация вектора входных переменных. Считается, что если

$$|\vec{x}_э(\tau) - \vec{x}(\tau)| \leq \vec{\delta}_x,$$

где $\vec{x}_э(\tau)$ – эталонный вектор входных переменных; $\vec{x}(\tau)$ – фактический вектор входных переменных;

$\vec{\delta}_x$ – фиксированный вектор ошибки входных переменных, то гарантируется выполнение условия (3.3). Тем самым утверждают, что стабильное качество заготовки гарантирует стабильное качество готовой детали. Такой подход не учитывает случайного характера составляющих вектора $\vec{x}(\tau)$ и самого ТП.

Дискретный характер ТП, его разбиение на отдельные технологические операции приводят к тому, что вектор управления $\vec{u}(\tau)$ процессом следует рассматривать как совокупность векторов управления отдельными технологическими операциями. Таким образом, управление ТП осуществляется только через управление отдельными технологическими операциями.

Задача управления ТП формулируется так: при известном векторе $\vec{x}(\tau)$ входных переменных и частично известном векторе $\vec{z}(\tau)$ условий найти вектор управления $\vec{U}^j(\tau)$ для каждой технологической операции, чтобы обеспечить для выходных переменных ТП соблюдение условия (3.3).

Системный подход к управлению ТП заключается в том, что каждый вектор $\vec{U}^j(\tau)$ не обязательно должен обеспечивать выполнение условия (3.3), но совокупность векторов $\vec{U}^j(\tau)$ должна гарантировать его выполнение для ТП в целом. Выполнение условия (3.3) для каждой отдельной технологической операции является идеальным условием его выполнения и для процесса в целом. Однако это сопряжено со значительными сложностями и затратами.

В основе существующих методов управления ТП и реализующих это управление технических устройств лежат два основных принципа: принцип активного контроля и принцип адаптации.

Активный контроль включает сбор информации о выходных переменных процесса, сравнение их значений с требуемыми и подачу команды на управляющее устрой-

ство для подналадки процесса (изменений уровня настройки, режимов работы оборудования и т.д.). При реализации данного принципа вектор управления $\overrightarrow{U^j}(\tau)$ следует определять по модели объекта управления в зависимости от отклонения фактического вектора выходных переменных от заданного. Надежность управления зависит от надежности указанной математической модели или реализующих рассматриваемый принцип технических устройств. Разработка математических моделей, связывающих вектор $\overrightarrow{U^j}(\tau)$ с отклонениями векторов выходных переменных, является весьма сложной задачей.

Управление, например, обработкой с помощью средств активного контроля, в случае появления брака зачастую затруднительно, так как сложно выявить причины, которые привели к потере качества. Затруднительно также определить, какое воздействие должно быть оказано на процесс (подналадка, ремонт, замена инструмента и т.п.) для обеспечения его стабильности при достижении заданного уровня выходной переменной. Наиболее эффективно применение средств активного контроля при условии высокой надежности оборудования и оснастки на операциях механической обработки.

Принцип адаптации используют для решения задач управления как на уровне технологической операции, так и на уровне ТП в целом. В зависимости от уровня применения его трактовка несколько различается.

На уровне технологической операции сущность адаптивного управления заключается в слежении и поддержании постоянства значения какого-либо параметра, влияющего на ход ТП и обеспечивающего заданный уровень выходного параметра, определяющего качество, производительность при минимальных затратах на выполнение рассматриваемой части ТП. Адаптивное управление осуществляется либо путем ограничения управляемого параметра – сигнал управления вырабатывается только тогда, когда управляемый параметр достиг предельно допусти-

мого уровня, либо путем поиска оптимального для конкретных текущих условий значения управляемого параметра – сигнал управления вырабатывается непрерывно и его составляющие соответствуют оптимальным значениям управляемого параметра.

Для уровня технологической операции принцип адаптации применим в основном для операций изготовления деталей. В этом случае обрабатывающее оборудование оснащают автоматической системой, обеспечивающей постоянный контроль управляемого параметра и сравнение фактических результатов с заданными. При возникновении отклонения определяется его численное значение и знак и корректируется фактор, регулирующий управляемый параметр. Например, при изменении силы резания изменяется подача независимо от факторов, которые этому способствовали.

Практическое применение принципа адаптации для управления технологическими операциями связано с разработкой на его основе и внедрением автоматизированных (автоматических) систем управления. Эти системы должны работать в режиме реального времени, обеспечивая мгновенную реакцию на отклонение контролируемого параметра, что предъявляет высокие требования к их чувствительности и быстродействию. Современные технические средства не позволяют обеспечивать мгновенную управляющую реакцию на возникшее отклонение контролируемого параметра. Реакция системы запаздывает – система вырабатывает сигнал управления спустя некоторое время после возникновения отклонений контролируемого параметра.

Сложность разработки адекватных математических моделей, недостаточные чувствительность и быстродействие стали причинами ограниченного применения адаптивных систем.

Применение принципа адаптации для управления ТП заключается в поддержании стабильности вектора выходных переменных при изменении в некоторых пределах век-

торов входных переменных и условий вследствие целенаправленного изменения структуры и параметров ТП. В данном случае управление направлено на адаптацию ТП к возникшим изменениям входных переменных и условий его протекания. Принцип адаптации применяют при управлении процессами изготовления изделий высокой эксплуатационной надежности в автоматизированном производстве.

Выполнение функции контроля и управления ТП в современном машиностроении неразрывно связано с решением проблемы автоматизации производства.

Технологическую систему можно представить (рис. 3.4) как систему, объединяющую объект управления (О) и управляющее устройство (УУ). На вход последнего подается задающее воздействие $y_3(\tau)$, содержащее информацию о цели управления. Сформированный управляющим устройством вектор $\overrightarrow{U}(\tau)$ в виде управляющего воздействия передается к объекту управления. В состав управляющего устройства могут входить чувствительное, вычислительное и исполнительное устройства.

Чувствительные устройства (измерительные устройства, датчики) служат для измерения подаваемых к управляющему устройству воздействий. Вычислительное устройство реализует алгоритм его работы. В простейшем случае оно выполняет элементарные математические операции (сравнение, определение разности, интегрирование и т.п.). В более сложных случаях вычислительное устройство может представлять собой ЭВМ или даже комплекс ЭВМ.

Исполнительные устройства предназначены для непосредственного управления объектом, т.е. изменения его состояния в соответствии с сигналом управления. В частном случае в качестве исполнительного устройства могут использоваться, например, приводы исполнительных перемещений самого станка.

Рассмотрим структуры некоторых систем, применяющихся для управления качеством продукции при механической обработке.

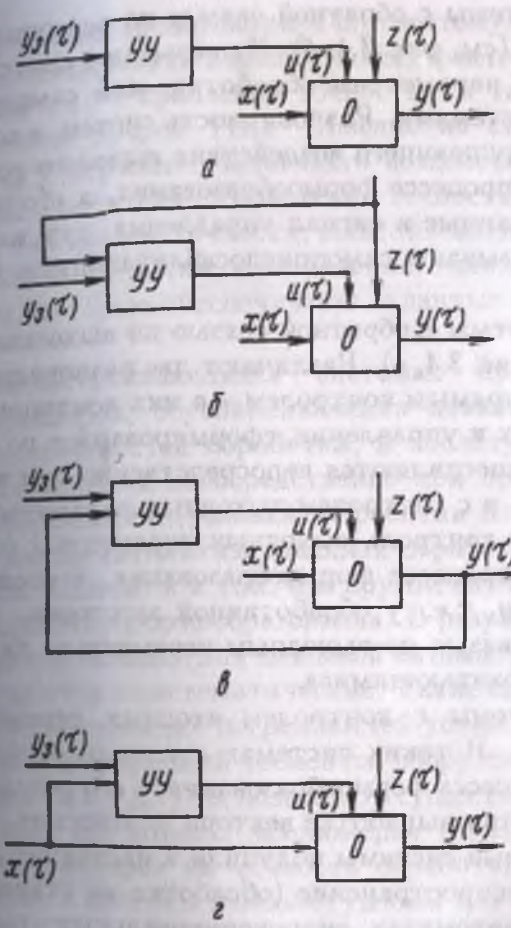


Рис. 3.4. Структуры систем управления качеством продукции при механической обработке: *а* – система без обратной связи; *б* – система с обратной связью по возмущающим воздействиям; *в* – система с обратной связью по выходным переменным; *г* – система с контролем входных переменных

1. Системы без обратной связи по возмущающим воздействиям и выходным переменным (см. рис. 3.4, *а*). Такие системы часто называют цикловыми.

2. Системы с обратной связью по возмущающим воздействиям (см. рис. 3.4, *б*). Их называют системами с контролем по параметрам обработки, или самонастраивающимися системами. Разновидность систем, в которых контроль возмущающего воздействия выполняется непосредственно в процессе формообразования, а его результаты, преобразованные в сигнал управления, тут же обрабатываются, называют самоприспосабливающимися (адаптивными).

3. Системы с обратной связью по выходным переменным (см. рис. 3.4, *в*). Различают две разновидности таких систем: с прямым контролем – в них контроль выходных переменных и управление, сформированное по его результатам, осуществляются непосредственно при выполнении операций – и с контролем выходных параметров обработки – в них контроль выходных переменных осуществляется не в процессе формообразования, а после того как он закончен, т.е. у обработанной заготовки. Системы с обратной связью по выходным переменным называют самоподнастраивающимися.

4. Системы с контролем входных переменных (см. рис. 3.4, *г*). В таких системах контроль выполняется до начала процесса формообразования, а его результаты учитываются при выработке вектора управления.

Цикловые системы получили в настоящее время наибольшее распространение (обработка на станках-автоматах и полуавтоматах, гидрокопировальных станках, станках с ЧПУ, автоматических линиях и т.д.). Они просты и надежны в работе, что, собственно, и определило их широкое распространение.

Обработка при использовании таких систем идет по жесткому циклу. Цикл не прерывается, если в процессе обработки возникает отклонение параметра качества. Это основной недостаток таких систем. Несмотря на высокую надежность самой системы, надежность протекания процесса обработки низка. В этих системах практически полностью отсутствует управление точностью в сфере са-

мого производства (реализации ТП), поэтому они не позволяют компенсировать влияние любых факторов на точность обработки. Управление точностью в таких системах ограничено сферой ТПП. Именно на стадии ТПП формируется содержание задающего воздействия, например программоносителя. Управление точностью сводится к расчетам ожидаемой точности, выполняемым в процессе проектирования операции, и назначению таких условий ее выполнения, которые обеспечивают заданные параметры качества.

В самонастраивающихся системах предусмотрен контроль факторов, обуславливающих появление составляющих погрешностей обработки, и последующая компенсация их влияния непосредственно при производстве. Контроль параметров (условий) обработки возможен как до начала цикла автоматизированной обработки, так и в самом цикле. Однако и в том, и в другом случае он предшествует процессу формообразования. В результате такого контроля случайные (для цикловой автоматики) факторы превращаются в систематические. Такие системы применяют для компенсации погрешностей установки заготовок, тепловых деформаций элементов оборудования, износа инструмента и т.д. Они позволяют существенно уменьшить влияние случайных, закономерно изменяющихся и постоянных факторов на точность обработки. Самонастраивающиеся системы наиболее удобны для применения на станках с ЧПУ. Алгоритм управления в таких системах основан на тех же зависимостях, по которым выполняется расчет ожидаемой точности обработки для цикловых систем. Невысокая точность расчета по этим зависимостям сказывается на качестве управления, что является недостатком самонастраивающихся систем.

Самоприспосабливающиеся (адаптивные) системы обеспечивают контроль и управление одним или несколькими факторами (составляющими вектора условий), обуславливающими формирование параметров качества. Процесс контроля и управления происходит синхронно с

процессом формообразования. Преимущества и недостатки этих систем рассмотрены нами ранее при анализе принципа адаптации.

Системы с прямым контролем являются самыми совершенными по качеству управления. Они позволяют практически полностью исключить влияние технологических факторов на точность выдерживаемого параметра. Недостаток таких систем управления – ограниченная область применения, что обусловлено главным образом техническими трудностями их конструктивного оформления для многих конкретных случаев обработки.

Системы с контролем выходных параметров обработки фиксируют результат завершенного процесса. Они не имеют возможности управлять случайными составляющими погрешности обработки. Обеспечивается управление только закономерно изменяющимися погрешностями (вызываемыми износом инструмента, тепловыми деформациями и т.д.), а также систематическими, если таковые возникают в процессе обработки. В основе информационного обеспечения таких систем лежат известные методы статистического контроля.

Обеспечение заданной точности при механической обработке в большинстве случаев связано с регулированием настройки технологической системы. Различают регулирование статической и динамической настройки.

Под статической настройкой понимают изменение настроечных размеров в технологической системе, выполняемое при отсутствии процесса формообразования (резания). Для обеспечения качества статическая настройка встречается в цикловых системах, системах с контролем выходных параметров обработки. В самонастраивающихся системах, а также в системах с прямым контролем изменение настройки осуществляется непосредственно в процессе формообразования, что позволяет отнести их к системам регулирования динамической настройки.

3.4.2. Оперативное регулирование статической настройки технологических систем

В цикловых системах управление качеством обработки осуществляется при ТПП. Точность обработки зависит от того, насколько при известных входных переменных точно определены условия выполнения операции и все это учтено в задающем воздействии управляющего устройства и наладке технологической системы.

Задачу обеспечения заданной точности решают в два этапа: 1) определяют условия выполнения операции, при которых суммарная погрешность обработки Δ не превышает поле допуска T; 2) устанавливают расположение поля погрешности в поле допуска. Последнее обеспечивают размерной наладкой технологической системы, выполняемой в сфере производства, однако способ наладки и условия ее проведения выбирают при технологическом проектировании (т.е. в процессе ТПП).

Размерную наладку выполняют на назначенные (рассчитанные) при проектировании наладочные размеры.

Рассмотрим соображения, в соответствии с которыми выбирают наладочные размеры в цикловых системах. Если $T = \Delta$, то заданная точность будет выдержана только в том случае (рис. 3.5, *а*), если в процессе наладки будут совмещены нижние и верхние границы заданных $\{L_{\min}, L_{\max}\}$ и фактических $\{L_{\text{ф min}}, L_{\text{ф max}}\}$ размеров:

$$L_{\min} = L_{\text{ф min}};\ L_{\max} = L_{\text{ф max}}.$$

Во всех остальных случаях поле погрешности выйдет за пределы поля допуска, а следовательно, возможно получение брака. В данном случае может быть только один наладочный размер, который обеспечивает заданную точность обработки.

При $T > \Delta$ (рис. 3.5, *б*) поле погрешности Δ может занимать множество положений относительно поля допуска, обеспечивающих заданную точность обработки. Указанное множество положений поля погрешности относительно

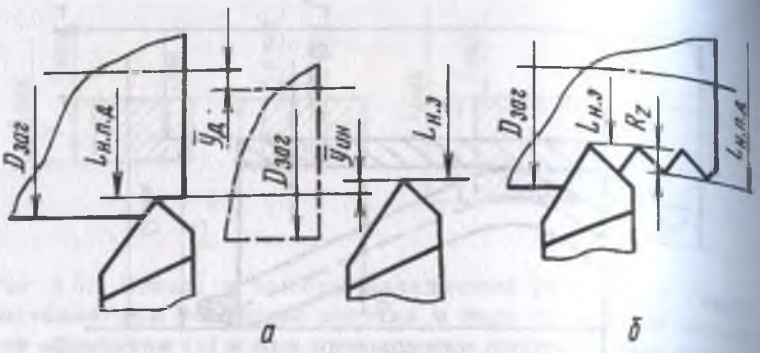


Рис. 3.7. Схема размерной наладки по эталону:
$L_{н.п.д}$ – наладочный размер для наладки по пробным деталям; $L_{н.э}$ – наладочный размер для наладки по эталону; $D_{заг}$ – диаметр заготовки

где $\overline{y}_{заг}$ – среднее значение упругих деформаций элементов технологической системы, связанных с заготовкой; $\overline{y}_{ин}$ – среднее значение упругих деформаций элементов технологической системы, связанных с инструментом. При наладке по эталону наладочный размер измеряют от формообразующей вершины инструмента (рис. 3.7, *б*). После обработки измеряемый наладочный размер отличается от наладочного размера по эталону на величину высоты микронеровностей R_z. Наладочный размер при наладке по эталону определяют по формуле

$$L_{н.э.} = L_{н.п.д.} - (\overline{y} + Rz).$$

Изложенный подход и методика определения наладочного размера справедливы не только для цикловых систем, но и для случаев обработки с использованием автоматически подналадочных (наладочных) устройств, когда отсутствует систематический контроль и компенсация размерного износа инструмента (например, статистический контроль). Если износ контролируется и компенсируется при обработке каждой заготовки партии, то в качестве наладочного размера рекомендуется принимать середину поля допуска.

Наладочные размеры, как составляющие вектора задающего воздействия, непосредственно определяют статическую настройку технологической системы. Если же формой реализации цикловой системы управления является ЧПУ, их вносят в управляющие программы. Наиболее часто обеспечение качества при обработке на станках с ЧПУ связано с компенсацией погрешностей, вызываемых упругими деформациями технологической системы при изменении условий резания. Такие изменения могут происходить, например, при обработке участков заготовок, требующих резкого изменения траектории относительного движения инструмента и заготовки.

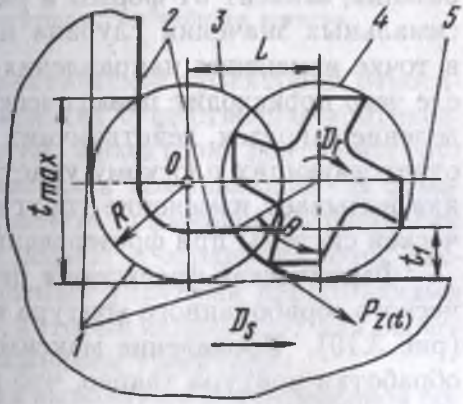


Рис. 3.8. Схема контурного фрезерования участка заготовки:
1 - заданный контур после обработки; *2* - контур исходной заготовки; *3, 4* - положения концевой фрезы; *5* - заданная (номинальная) траектория центра фрезы

При контурном фрезеровании на станке с ЧПУ участка заготовки, показанного на рис. 3.8, радиус сопряжения R плоских участков контура равен радиусу фрезы. Припуск на обработку считается распределенным эквидистантно обработанному контуру. При обработке плоского участка с прямолинейной образующей глубина резания постоянна и равна припуску t_1, а угол контакта θ и силы резания $P_z(t_1)$ постоянны. Фрезерование участка сопряжения связано с возрастанием глубины резания до t_{max}. Как следствие растет сила резания (рис. 3.9). В зависимости

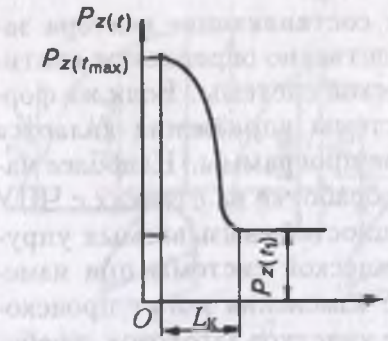


Рис. 3.9. Изменение окружной силы резания при контурном фрезеровании участка заготовки

от формы сопряжения возможно увеличение окружной силы резания, причем $P_{z(t_{max})} = (4 \ldots 12)\, P_{z(t_1)}$.

Длина участка $L_к$, на котором наблюдают рост сил резания, зависит от формы и размеров сопряжения. Максимальных значений глубина и сила резания достигают в точке изменения направления движения (точка O), после чего происходит практически мгновенное перераспределение нагрузок, действующих на фрезу, до значений, соответствующих плоскому участку. Изменение силы резания вызывает изменение упругих деформаций технологической системы при фрезеровании участка сопряжений.

Фактическая траектория центра фрезы и вид фактического обработанного контура не совпадают с заданными (рис. 3.10). Проявление максимальной погрешности δ_{max} обработки контура таково, что при встречном фрезеровании возрастает риск появления неисправимого брака. При попутном фрезеровании брак может быть исправлен введением, например, дополнительного рабочего хода по той же управляющей программе, что, однако, резко снижает производительность и увеличивает затраты. К тому же, из-за некоторых особенностей процесса применение попутного фрезерования не всегда возможно. Для обеспечения заданного качества обработки часто прибегают к предварительному искажению (геометрической коррекции) номинальной траектории движения инструмента и заданию ее в управляющей программе. При движении центра инструмента по предыскаженной траектории, являющейся зер-

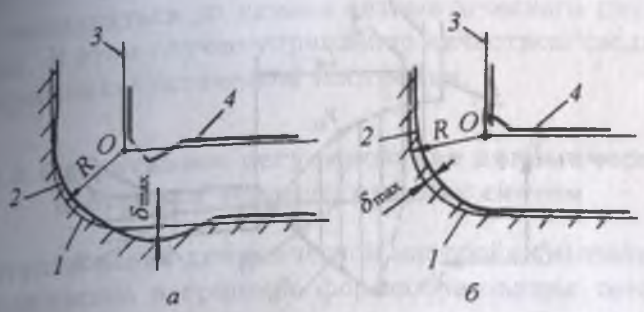


Рис. 3.10. Фактические траектории центра фрезы и вид обработанного контура заготовки при встречном (*а*) и попутном (*б*) фрезеровании:
1 – заданный контур после обработки; *2* – фактический контур после обработки; *3* – заданная (номинальная) траектория центра фрезы; *4* – фактическая траектория центра фрезы; δ_{max} – максимальная погрешность обработки контура

кальным отображением фактической траектории относительно номинальной, происходит существенная компенсация указанных погрешностей. Траектория центра инструмента при этом приближается к номинальной. В отмеченных случаях полного расчета суммарной погрешности контура, как правило, не делают и ограничиваются расчетом отклонений, вызываемых упругими деформациями технологической системы, которые используют для расчетов, связанных с предыскажением траектории.

Расчет предыскажения выполняют в определенной последовательности, которую поясним на примере фрезерования участка заготовки, показанном на рис. 3.8.

1. В зависимости от формы и геометрических параметров сопряжения определяют длину $L_к$ участка траектории, на котором ожидается рост силы резания. В пределах длины $L_к$ выбирают 9...12 точек для расчета.

2. Для каждой i-й точки коррекции определяют значения угла θ_i контакта фрезы с заготовкой и погрешности контура δ_{k_i}.

3. Найденное значение δ_{k_i} сравнивают с допуском T на выдерживаемый размер контура. Если $\delta_{k_i} < T$, то пре-

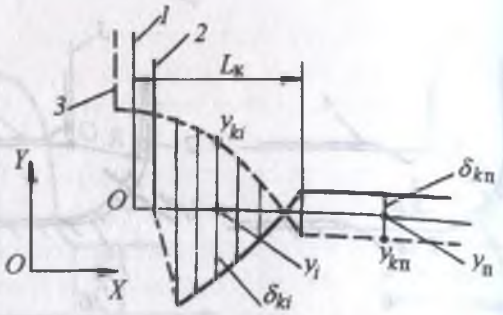


Рис. 3.11. Схема формирования предыскажения траектории центра фрезы:
1 – заданная (номинальная) траектория центра фрезы; *2* – фактическая траектория центра фрезы; *3* – предыскаженная траектория центра фрезы

дыскажение траектории не делают, а в управляющую программу вводят номинальные координаты центра фрезы.

4. При $\delta_{k_i} > T$ выполняют расчет предыскажения по соответствующей координате (в рассматриваемом случае по y) (рис. 3.11):

$$y_{k_i} = y_i + \delta_{k_i},$$

где y_{k_i} – скорректированное значение ординаты i-й точки коррекции; y_i – номинальное значение ординаты i-й точки коррекции. Суммирование осуществляется с учетом изменения знака величины δ_{k_i} на противоположный. Для точек, соответствующих нестационарному участку фактической траектории, промежуточные скорректрованные координаты определяют экстраполированием.

Расчеты предыскажения траектории можно легко формализовать. Как правило, они выполняются автоматически при подготовке управляющих программ с использованием специализированных программно-аппаратных комплексов.

В самонастраивающихся системах контроль условий обработки и управление, обеспечивающее компенсацию влияния возмущающих факторов на качество обработки,

могут выполняться до начала автоматического цикла обработки. В этом случае управление качеством сводится к регулированию статической настройки.

3.4.3. Оперативное регулирование динамической настройки технологических систем

Регулирование динамической настройки выполняется непосредственно в процессе формообразования того комплекса поверхностей, качество которых необходимо обеспечить. Выполнить это можно одним из следующих способов:

1) поддержанием заданного уровня статической настройки путем введения корректирующих управляющих воздействий, учитывающих случайные составляющие векторов входных переменных и условий;

2) автоматическим генерированием, поддержанием и изменением наиболее оптимального для данных условий уровня настройки, гарантированно обеспечивающего заданное качество.

В системах, обеспечивающих регулирование динамической настройки, наблюдается наиболее полный компромисс принципов активного контроля и адаптации. Контроль и управление осуществляются, как правило, по составляющим вектора условий.

На рис. 3.12 показана блок-схема широкоуниверсального следящего гидравлического люнета для токарных станков с ЧПУ конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Резец *1*, установленный в револьверном суппорте, выполняет обработку цилиндрической поверхности заготовки *2*. В контакте с заготовкой находятся опорные ролики *3* люнета. Коромысло люнета расположено на штоке гидроцилиндра *8*. Управление перемещениями опорных роликов *3* люнета осуществляется с помощью технологических команд ЧПУ, обеспечивающих включение либо левой, либо правой обмотки реверсивного золотника *7*. Это обеспечивает перемещение штока гидроцилиндра *8* к заготовке

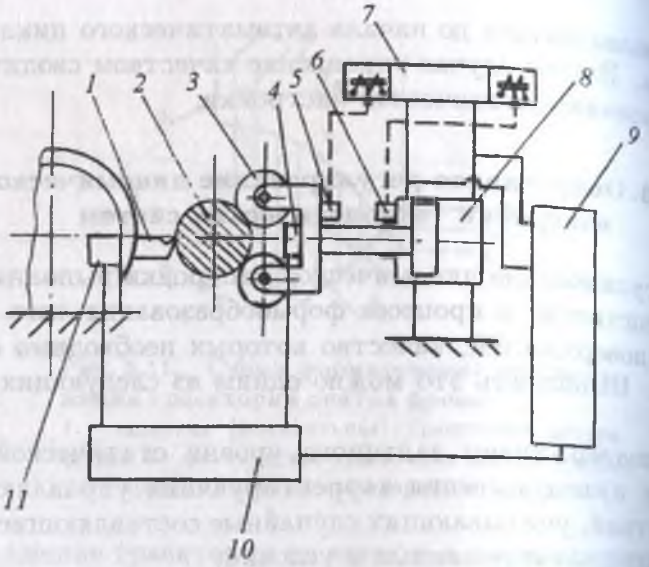


Рис. 3.12. Блок-схема широкоуниверсального следящего гидравлического люнета для токарных станков с ЧПУ

или в крайнее от нее положение. Выполнение необходимых перемещений контролируется датчиками положения *5*, *6*. Силы резания, возникающие при обработке заготовки, контролируются датчиками *4*, *11*. Сигналы от датчиков *4*, *11* сравниваются в блоке *10*. При наличии сигнала рассогласования подается команда на управляющий золотник *9*. Последний обеспечивает перемещение штока в нужном направлении до тех пор, пока силы на штоке и суппорте не уравняются (сигнал рассогласования становится равным нулю). Таким образом, радиальная составляющая силы резания уравновешивается силой на люнете, что исключает деформацию заготовки.

Рассмотренная система является самонастраивающейся. В системах управления и обеспечения качества продукции все более широкое применение находят средства вычислительной техники. В качестве примера рассмотрим разработанную в МГТУ им. Н.Э. Баумана систему управления точностью диаметральных размеров и по-

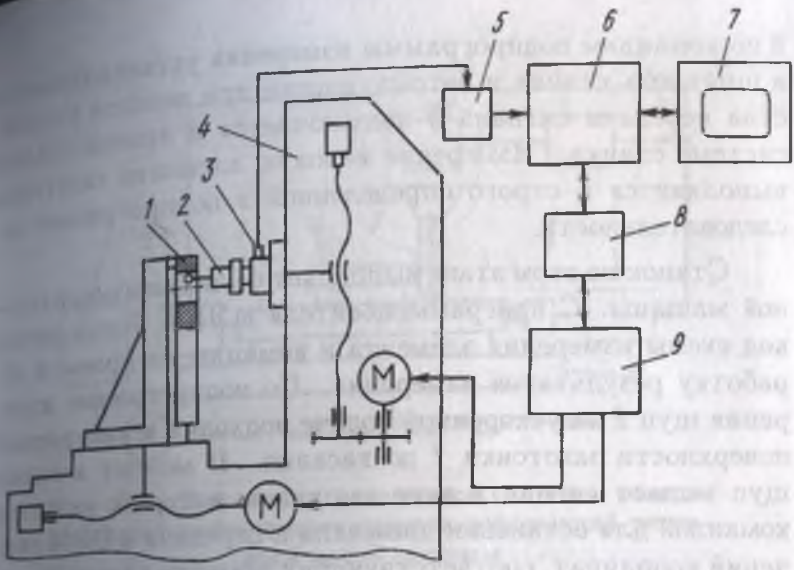


Рис. 3.13. Блок-схема системы управления точностью диаметральных размеров и положением осей отверстий

ложением осей отверстий заготовок, обрабатываемых на многооперационных станках (рис. 3.13).

Обрабатываемая заготовка *1* установлена в приспособлении на столе многооперационного станка *4*, имеющего собственную измерительную систему. Управление станком осуществляет устройство ЧПУ *9*. Мини-ЭВМ *6* с терминалом ввода-вывода данных *7* соединена интерфейсами сопряжения *5* и связи *8* с измерительной системой станка *4* и устройством ЧПУ *9*, управляющим приводами *M* станка.

На программоносителе перед управляющей программой обработки заготовки записаны дополнительная программа, содержащая данные о заготовке, и подпрограмма измерения первичных погрешностей заготовки. С терминала 7 в ЭВМ *6* вводят дополнительные данные об условиях обработки, о жесткости технологической системы, используемых инструментах, материале. После ввода программоносителя перед началом обработки отрабатывается подпрограмма измерения заготовки. Измерительный щуп

2 по командам подпрограммы измерения устанавливается в шпиндель станка и автоматически при помощи устройства передачи сигнала *3* подключается к измерительной системе станка. Измерение каждого элемента заготовки выполняется в строго определенной в подпрограмме последовательности.

Станок на этом этапе выполняет функции измерительной машины. С программоносителя в ЭВМ *6* передается код схемы измерения элемента и команды на прием и обработку результатов измерения. По подпрограмме измерения щуп *2* на ускоренной подаче подходит к измеряемой поверхности заготовки *1* до касания. В момент касания щуп выдает сигнал в виде импульса, который является командой для остановки движения и передачи в ЭВМ значений координат, соответствующих моменту касания с измерительной системой станка *4*. В соответствии с индивидуальной для каждого элемента стратегией измерения проводится необходимое число замеров и переход к следующему измеряемому элементу. Обработка результатов выполняется ЭВМ между измерениями. Определяются положение заготовки в системе координат станка, погрешности заготовки, ожидаемая точность обработки отверстий. Ожидаемая точность сравнивается с заданной, введенной с программоносителя. При удовлетворительном результате заготовка обрабатывается по основной (заданной) управляющей программе. Если ожидаемая точность не соответствует заданной, то выполняется необходимая корректировка условий обработки – смещение оси отверстия от настроечного размера или изменение режима резания (подачи).

Применение рассмотренной системы позволяет обеспечить точность позиционных отклонений оси отверстий не ниже 0,01 мм, а диаметральных размеров до 0,015 мм при уменьшении числа предварительных переходов растачивания отверстий.

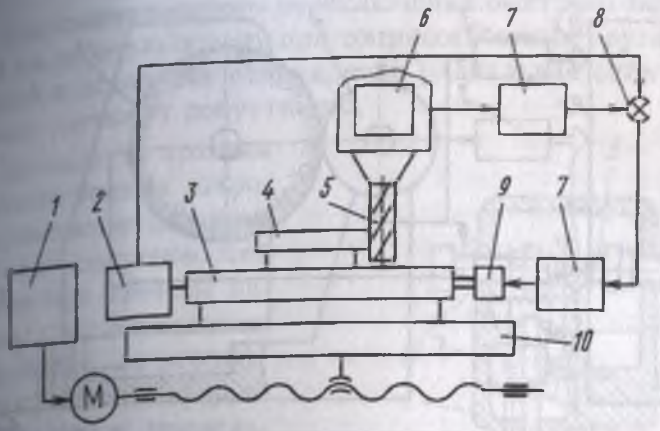


Рис. 3.14. Блок-схема адаптивной системы, обеспечивающей компенсацию упругих деформаций технологической системы

Большинство известных реализаций самоприспосабливающихся (адаптивных) систем в целом, хотя и считаются системами регулирования динамической настройки, обеспечивают поддержание заданного уровня статической настройки путем компенсации действия случайных составляющих векторов входных переменных и условий.

Адаптивная система, схема которой изображена на рис. 3.14, предназначена для компенсации упругих деформаций технологической системы под действием сил резания.

На фрезерном станке с ЧПУ обрабатывается заготовка *4* концевой фрезой *5*. Управление приводами подач *M* осуществляет устройство ЧПУ *1*. Возникающие при обработке силы резания вызывают упругие деформации технологической системы, фиксируемые датчиком *6*. Заданное управляющей программой положение контролирует датчик *2*. Сигналы датчиков сравниваются в сумматоре *8*. При возникновении сигнала рассогласования последний усиливается усилителем *7* и подается на вход исполнительного элемента привода управления *9*. Исполнительный элемент *9* сдвигает верхнюю плиту накладного

15*

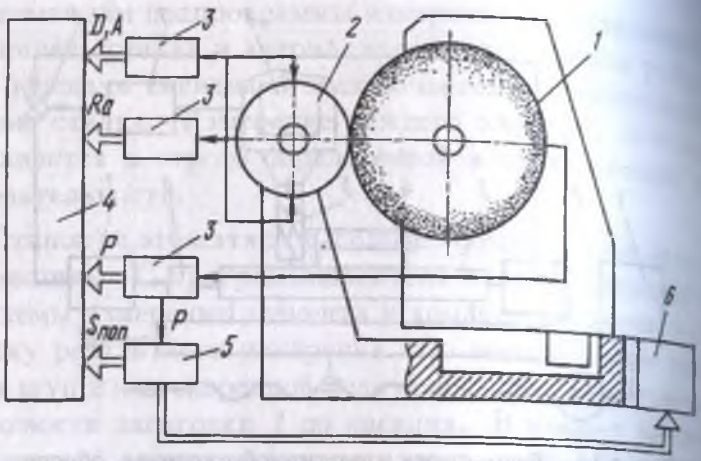


Рис. 3.15. Блок-схема системы адаптивного управления качеством обрабатываемой заготовки при шлифовании

динамометрического стола *3* вместе с установленной на ней заготовкой относительно стола *10* станка. Величина и направление корректирующего перемещения соответствуют величине и направлению деформации технологической системы.

На рис. 3.15 приведена общая схема системы адаптивного управления качеством заготовки *1* при шлифовании кругом *2*. Данные о диаметре D, шероховатости Ra поверхности заготовки и радиальной силе шлифования P в виде электрических сигналов от соответствующих датчиков поступают в электронные преобразующие устройства *3*, откуда их значения поступают на аналоговый вход вычислительной машины *4*. Сигнал работы шлифования A определяется по скорости изменения измеряемого диаметра D заготовки. Вычислительная машина в зависимости от измеренных и вычисленных параметров (Ra, P, D, A) оптимизирует значение поперечной подачи $S_{поп}$, передаваемой в управляющее устройство *5*, где оно кодируется и поступает в виде электрического сигнала на шаговый электродвигатель *6*. Сигнал радиальной силы шлифования P также поступает на управляющее устрой-

ство для своевременного переключения быстрого подвода круга на рабочую подачу при соприкосновении круга с заготовкой и остановки станка, если радиальная сила шлифования превысит допустимую.

Системы с прямым контролем нашли широкое применение для компенсации погрешностей размера при врезном наружном и внутреннем шлифовании, компенсации погрешности формы шеек валов в продольном сечении при обтачивании на токарных станках и т.д. На рис. 3.16 показан пример использования системы с прямым контролем для управления точностью размера при шлифовании желоба кольца подшипников.

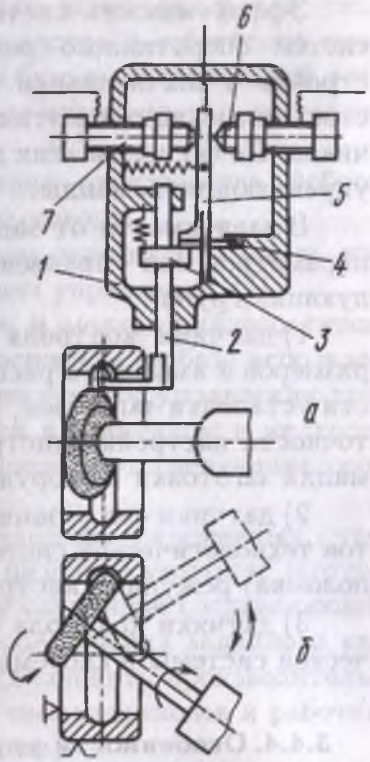


Рис. 3.16. Схема управления точностью размера при прямом контроле:
а – схема измерения; *б* – схема шлифования

Управление приводами станка осуществляется по результатам контроля диаметрального размера измерительной головкой, расположенной в корпусе *1*. Измерительный шток *2* с алмазным наконечником вводится в желоб. В процессе шлифования по мере увеличения диаметра желоба шток *2* поднимается. Под действием кольца *3* крестообразная пружина *4* изгибается и отклоняет подвижный контакт *5*. При его отходе от неподвижного контакта *7* дается команда исполнительным органам станка

на переход с чернового шлифования на чистовое. По достижении заданного размера подвижный контакт 5 замыкается с неподвижным 6 и процесс шлифования прекращается.

Эффективность систем управления и в особенности систем оперативного регулирования динамической настройки в значительной мере определяется эффективностью применяемых в этих системах диагностических датчиков. По сигналам этих датчиков выдаются необходимые управляющие команды.

В зависимости от задач контроля и контролируемых параметров при управлении ТП применяют датчики следующих групп:

1) датчики контроля качества обработки (точности размеров и взаимного расположения поверхностей), точности установки заготовок, размерного износа инструмента, точности настройки инструмента, температурных деформаций заготовки и оборудования;

2) датчики сил резания и упругих деформаций элементов технологической системы, а также состояния (износ и поломка) режущего инструмента;

3) датчики контроля состояния элементов технологической системы и системы управления.

3.4.4. Особенности управления технологическими процессами в автоматизированном производстве

Рассмотрим особенности управления ТП применительно к автоматизированному механообрабатывающему производству.

Для автоматизированного производства характерно следующее.

1. Работа оборудования в автоматическом режиме, по автоматическому циклу. Исключение иногда составляют позиции загрузки.

2. Снижение или полное отсутствие возможности вмешательства в процесс формообразования оператора. Тенденция к реализации в автоматизированных производственных системах "безлюдного" режима обработки.

3. Стремление к объединению конструкторской, технологической подготовок производства и собственно производства в единый комплекс на базе вычислительной техники, т.е. компьютеризированное интегрированное производство (CIM).

4. Тенденция к автоматизации производства любого типа (единичного, серийного, массового).

Тип производства в основном определяет степень его автоматизации и специфику задач управления ТП.

Автоматизацию единичного и мелкосерийного типов производства осуществляют в основном на базе использования станков с ЧПУ. Специфику задач управления при обеспечении качества продукции в единичном и мелкосерийном типах производства определяют следующие особенности.

1. Повышенное рассеяние входных переменных, что обусловлено, например, более низким качеством заготовок. Это порождает увеличение случайной составляющей погрешности обработки. Для обеспечения заданного качества, как правило, приходится снижать производительность обработки (увеличивать число переходов и рабочих ходов, снижать режимы обработки).

Основными путями устранения указанного недостатка являются совершенствование методов получения заготовок, а также повышение качества управления в цикловых системах. Получение заготовок высокого качества в единичном или мелкосерийном производстве сопряжено со значительными затратами. Однако, например, для литых и штампованных заготовок разрабатывают быстропереналаживаемую оснастку (модели, штампы) по типу универсально-сборных приспособлений, которая позволяет обеспечить высокое качество заготовок при малых программах выпуска.

2. Высококонцентрированное построение операций обработки, в частности на станках с ЧПУ. В этих условиях становится практически невозможным для цикловых систем управление погрешностями от тепловых деформаций и размерного износа инструмента, так как сильно затруднен расчет этих погрешностей.

3. Широкая номенклатура и малые программы выпуска изделий (деталей). В течение смены на одном станке могут быть обработаны заготовки нескольких типоразмеров. Кроме того, получают все большее распространение новые организационные формы запуска заготовок в обработку. Стремятся ввести обработку комплектами, причем в комплект включают детали, входящие в одну сборочную единицу. Это позволяет уменьшить потребные складские площади, сократить цикл производства изделия. В этих условиях вообще идет непрерывная смена операций на станке с ЧПУ. При этом остро встает проблема выполнения размерной наладки (статической настройки), так как известные методы наладки в таких условиях либо вообще непригодны, либо малоэффективны.

Наладка по пробным деталям, во-первых, становится очень трудоемкой (до 40 % и более трудоемкости обработки всей партии), и, во-вторых, вносит большую погрешность, так как количество пробных деталей здесь не превышает одной. Наладка по эталону вообще непригодна вследствие экономической нецелесообразности изготовления эталонов при малом выпуске изделий, к тому же точность наладки в большинстве случаев недостаточна для обеспечения требуемой точности обработки.

Взаимозаменяемая наладка, широко применяемая на станках с ЧПУ, не решает задачу первичной наладки и используется только для замены инструментов.

Для применения в цикловых системах управления в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан метод групповой размерной наладки, применяемый при обработке деталей различных типоразмеров, составляющих группу либо комплект. В этом методе процесс наладки выполняется не

на наладочный размер, определяемый из условия обеспечения заданного размера обрабатываемой поверхности, а на произвольно выбранный размер A. Выполняется статическая настройка (по эталону) или динамическая (по пробной стружке). Перед обработкой деталей каждого типоразмера инструмент перемещается в исходную ("нулевую") точку набором величины соответствующего перемещения на устройстве ЧПУ либо по сигналам управляющей ЭВМ (если станок входит в автоматизированную производственную систему, управляемую общей ЭВМ). Требуемые наладочные положения перед обработкой конкретных поверхностей заготовок каждого типоразмера инструмент занимает по программе, для чего в процессе ее подготовки выполняется соответствующий расчет координат опорных точек (величин перемещения инструмента). Метод позволяет уменьшить трудоемкость наладки, однако не обеспечивает ее высокую точность, так как при расчете координат опорных точек используются зависимости, неадекватно описывающие реально протекающий процесс. Поэтому и здесь появляется необходимость оперативного регулирования статической или даже динамической настройки, выполняемого с помощью описанных ранее методов и систем.

В крупносерийном и массовом автоматизированных типах производства специфику задач управления определяют следующие требования.

1. Обеспечение высокой производительности обработки. Время измерения необходимых для управления параметров и время, затрачиваемое на реализацию результатов измерения (компенсация погрешностей, подналадка и т.д.), должны максимально перекрываться оперативным временем.

2. Повышение устойчивости производственных систем к отказам. Это особенно относится к производственным системам, работающим в тактовом режиме, например автоматическим линиям, а также к производственным системам, управляемым едиными управляющими комплексами, например центральной управляющей ЭВМ. Для производ-

ственных систем, функционирующих в "безлюдном" режиме, необходимо обеспечение поддержания их работоспособности.

Специфика задач управления в серийном автоматизированном производстве в той или иной мере отражает специфику задач рассмотренных выше типов производств. Требование обеспечения качества изделий широкой номенклатуры может сочетаться, например, с требованием обеспечения заданной производительности производственной системы, функционирующей в "безлюдном" режиме.

Специфика управления автоматизированными (гибкими) производственными системами позволила выделить отдельный класс задач ситуационного управления, общая постановка которых заключается в следующем. Известна структура автоматизированной производственной системы (состав оборудования, взаимосвязь отдельных элементов системы и т.д.), а также номенклатура, программы выпуска, параметры заготовок, обрабатывающихся в данной системе. Задается ситуация, возникающая в определенном месте (элементе) системы: это может быть отказ оборудования, риск появления брака, поломка или прогрессирующий износ инструмента, отказ элемента транспортной системы и т.п. Необходимо принять решение, являющееся оптимальным с точки зрения эффективности работы системы, описываемой системой соответствующих критериев.

Каждое из конкретных решений задачи ситуационного управления можно рассматривать как методическую и информационную основу для его представления в виде соответствующей программы управления. Совокупность таких программ образует программное обеспечение управления и определяет его эффективность.

3.4.5. Адаптация технологических процессов к изменяющейся производственной ситуации

Ситуация, возникающая при работе любой производственной системы, являющейся совокупностью техноло-

гических систем, средств транспортного обслуживания и управления, непрерывно изменяется. Действует значительное количество дестабилизирующих производственную ситуацию факторов, к важнейшим из которых относят: нестабильность физико-механических свойств материала и размеров исходных заготовок; несоответствие реальных условий изготовления изделия структуре и параметрам ТП, реализованных в конкретной производственной системе; действие факторов, формирующих суммарную погрешность обработки; изменение конструктивно-технологических факторов выпускаемых изделий; отказы отдельных элементов производственной системы и грубые ошибки при управлении ею.

Гарантированно обеспечить качество деталей при действии любого из указанных дестабилизирующих факторов можно лишь на основе системного подхода, при адаптации ТП к условиям изменяющейся производственной ситуации, состоящей в возможности замены части (или даже целого) заранее спроектированного ТП иным его продолжением, оптимальным как с точки зрения исходных (промежуточных) данных о ходе процесса, так и его конечного результата. Если после какой-либо операции базового процесса отклонения параметров качества изделия превышают допустимые, то следующей выполняется не очередная операция базового процесса, а, возможно, иная операция, являющаяся первой операцией нового продолжения процесса, позволяющего компенсировать отклонения и обеспечить заданное качество. Деталь при этом может быть передана на другой станок, позицию и т.д.

Реализация принципа адаптации целесообразна при изготовлении сложных, дорогостоящих деталей, а также деталей, которые должны обладать высокой надежностью или иметь доминирующий показатель эксплуатационного качества – эксплуатационную характеристику (ЭХ). Достижение ЭХ означает полное выполнение в течение цикла работы деталью своего функционального назначения в заданном диапазоне рабочих условий. Например, для кулач-

ка полуавтомата ЭХ точно воспроизводит закон движения связанного с ним исполнительного органа в течение рабочего цикла. Для разрывной предохранительной мембраны химического реактора ЭХ показывает гарантированное разрушение мембраны в строго фиксированном диапазоне рабочих давлений.

Принцип адаптации ТП изготовления деталей к изменяющейся производственной ситуации наглядно иллюстрирует алгоритм, представленный на рис. 3.17.

Любая деталь обрабатывается согласно предварительно разработанному, заданному ТП. Для каждой операции процесса, особенно в автоматизированном производстве, определено множество контрольных параметров качества детали (значений точности, шероховатости, параметров физико-механических свойств материала и т.д.). Фактические значения параметров качества детали после выполнения каждой операции должны находиться в пределах полей допусков на данные параметры. Оперативная информация о ходе процесса подвергается тщательному анализу и в случае действительного наличия отклонений формируется и уточняется множество параметров качества, по которым произошли отклонения, и их фактические значения. Если отклонения слишком велики, деталь может быть сразу же забракована, а процесс остановлен для выяснения и устранения причин отклонений. С помощью математических моделей (регрессионного типа), связывающих ЭХ и значения фактических параметров качества детали, устанавливают наличие в выделенном множестве параметров качества, определяющих ЭХ. Для этих параметров с помощью прогностических моделей находят ожидаемые ЭХ, особенно, если заданный процесс не предусматривает дальнейшего изменения рассматриваемых параметров. Если результаты прогноза ЭХ устраивают заказчика, то заданный ТП продолжается.

В случае, если ожидаемые ЭХ являются неприемлемыми, выясняют, можно ли управлять параметром качества детали, по которому произошло отклонение? Если

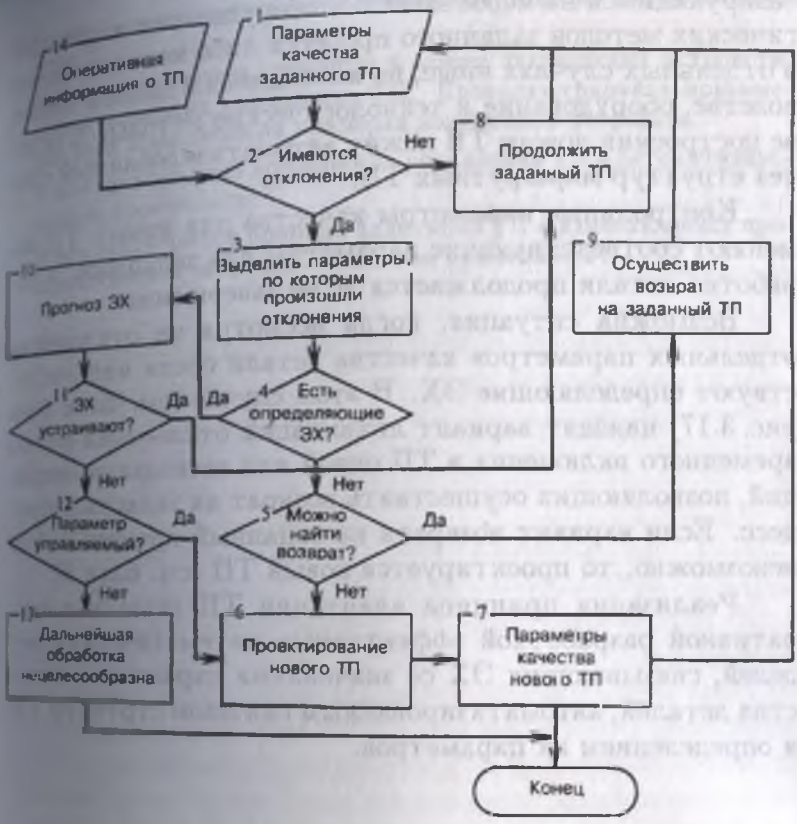


Рис. 3.17. Алгоритм адаптации ТП к изменяющейся производственной ситуации

этот параметр является неуправляемым, то дальнейшая обработка детали нецелесообразна ввиду низких ожидаемых ЭХ. Процесс останавливается для выяснения и устранения причин отклонения. Деталь бракуют.

Если параметр является управляемым, проектируют новый ТП (см. блок *6* на рис. 3.17), используя в качестве исходных данных результаты выполнения операции заданного процесса, в которой произошли отклонения параметров качества детали. Новый ТП может быть совершенно самостоятельным (по отношению к заданному) процессом,

базирующимся на использовании оборудования и технологических методов заданного процесса, либо использующий в отдельных случаях иные, но имеющиеся в данном производстве, оборудование и технологические методы. В основе построения нового ТП лежит автоматизированный синтез структур маршрутных ТП.

Контрольные параметры качества для нового ТП заменяют соответствующие параметры для заданного, и обработка детали продолжается до ее завершения.

Возможна ситуация, когда несмотря на отклонения отдельных параметров качества детали среди них отсутствуют определяющие ЭХ. В этом случае (см. блок *5* на рис. 3.17) находят вариант ликвидации отклонения путем временного включения в ТП одной или нескольких операций, позволяющих осуществить возврат на заданный процесс. Если вариант возврата на заданный процесс найти невозможно, то проектируется новый ТП (см. блок *6*).

Реализация принципа адаптации ТП связана с оперативной разработкой эффективных математических моделей, связывающих ЭХ со значениями параметров качества деталей, автоматизированным синтезом структур ТП и определением их параметров.

Вопросы для самопроверки

1. Каким образом основные требования к системам управления ТП связаны с особенностями последних?
2. Какие требования предъявляют к математическим моделям ТП?
3. Укажите основные классы моделей, используемых для моделирования ТП в машиностроении.
4. С какой целью выполняют анализ ТП?
5. Какие показатели используют при анализе точности ТП?
6. Назовите основные методы анализа ТП в машиностроении. Дайте характеристику каждого метода.
7. Укажите основные задачи, требующие формирования решений при управлении ТП.

8. В какой последовательности принимают решения по управлению ТП?
9. Назовите принципы, лежащие в основе технических устройств, обеспечивающих управление ТП. Проиллюстрируйте применение этих принципов на примерах конкретных устройств.
10. В чем заключаются особенности управления ТП в автоматизированном производстве?
11. В чем заключается принцип адаптации ТП к изменяющейся производственной ситуации? Когда он применяется?

Глава 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Развитие общества предопределило ускоренный рост материальных ценностей. Наиболее ярко это выражено в современном машиностроении, основной характерной чертой которого является быстрая сменность номенклатуры выпускаемой продукции. В ближайшем будущем предполагается расширение сферы единичного и мелкосерийного производств, как наиболее динамичных и гибких. Единичное производство может быть реализовано в любой области машиностроения (тяжелое, энергетическое, прецизионное машиностроение, судостроение и др.). В то же время в большинстве отраслей промышленности детали типа корпусов и валов являются типовыми и наиболее часто встречаемыми. ТП их изготовления изобилуют специальными приемами работы и специфическими операциями. Поэтому в данной главе общие особенности реализации ТП единичного производства рассмотрены применительно к тяжелому и прецизионному машиностроению, а

примеры ограничены процессами изготовления корпусных деталей тяжелого машиностроения и высокоточных валов для прецизионных приводов.

Тяжелое машиностроение

Отличительными особенностями изготовления изделий тяжелого машиностроения являются их широкая номенклатура, большие габаритные размеры и масса.

В условиях единичного производства изготавливают большую часть изделий тяжелого машиностроения, к которым можно отнести прокатное, кузнечно-прессовое, энерго- и подъемно-транспортное оборудование.

Обработку заготовок указанных изделий, несмотря на то, что большинство из них изготавливают известными способами технологии машиностроения, в условиях единичного производства выполняют с использованием особых, специфических приемов. Эти специфические приемы и условия можно обобщить применительно к изготовлению прокатного оборудования.

Большая номенклатура машин при низкой повторяемости деталей – характерная черта единичного производства. Например, рельсобалочный стан имеет около 50 тыс. деталей, подлежащих обработке. В связи с этим многие детали недостаточно отработаны на технологичность.

Большие габаритные размеры и масса, сложность конструкции деталей приводят к необходимости использования уникального металлорежущего оборудования, отличающегося повышенной жесткостью и мощностью.

На крупных токарных станках обеспечивается точность обработки $IT6$, $IT7$ при шероховатости $Ra = 2{,}5$ мкм. Применяемые токарные станки имеют достаточно большие высоту центров (500 ... 3000 мм) и расстояние между ними (3000 ... 32000 мм), обладают значительной грузоподъемностью. Так, станки модели 1682А и 1683 допускают обработку заготовок массой 170 т и более. Токарные станки, как правило, обладают несколькими суппортами, что дает возможность вести одновремен-

ную обработку нескольких поверхностей по длине детали. Кроме того, эти станки снабжены двумя передними и двумя задними бабками, что позволяет при обработке коротких деталей иметь два независимых станка, имеющих общую станину. Установка и крепление деталей происходит в специальных планшайбах, в которых в специальные башмаки установлены кулачки. По направляющим башмаков кулачки перемещаются с помощью коротких и жестких винтов. В отдельных случаях крупные токарные станки снабжают дополнительными устройствами, расширяющими их технологические возможности, например приводами со шлифовальными кругами. При этом необходима дополнительная защита направляющих станка от абразива.

Крупные карусельные станки изготавливают обычно двухстоечными с тремя суппортами: одним боковым и двумя вертикальными. Диаметр планшайбы у станков достигает 20 и более метров. Точность обработки аналогична точности обработки на токарных станках. Возможно оснащение карусельных станков приводами со шлифовальными кругами. На поперечине карусельных станков часто предусматривают места для крепления копирных линеек, с помощью которых возможна обработка конических, криволинейных, сферических поверхностей. Возможно нарезание резьбы. Крупные расточные станки, наиболее распространенные в тяжелом машиностроении, бывают стационарные и переносные.

Значительное место в тяжелом машиностроении занимают и продольно-строгальные станки. Эти станки имеют длину хода стола от 4 м и более. При обработке поверхностей обеспечивается достаточно высокая точность, например отклонение от прямолинейности 0,02 мм на 1 м длины детали. На станках возможно получение шероховатости обрабатываемой поверхности порядка $Ra = 2,5$ мкм.

Благодаря своей универсальности, высокой производительности и эффективности все большее распростране-

ние для обработки крупногабаритных деталей получают продольно-фрезерные станки. Наибольшее распространение получили двухстоечные станки с четырьмя шпинделями: двумя вертикальными и двумя боковыми. Так, продольно-фрезерный станок модели 6682 имеет ширину стола 3,6 м, длину 12 м и грузоподъемность до 120 т. Способы установки, выверки и крепления деталей на столах этих станков особо оговариваются технологическими регламентами.

Зубообрабатывающие станки позволяют получать зубчатые колеса 7...9-й степени точности с прямым, косым или шевронным зубом, цилиндрические, конические, червячные и др. Габаритные размеры и масса обрабатываемых деталей колеблются в очень широких пределах. Наибольшее распространение в тяжелом машиностроении имеют универсальные зубофрезерные станки, обладающие высокой точностью, производительностью и надежностью в работе.

Для обработки особо крупных деталей, когда масса заготовки значительно превышает грузоподъемность станка, широко используют переносные станки. Переносные станки также применяют, если невозможно обработать какую-либо поверхность на универсальном станке или чтобы освободить дорогостоящий уникальный станок от малоответственных операций, так как использование крупных уникальных станков в тяжелом машиностроении резко увеличивает себестоимость деталей. В отдельных случаях переносной станок устанавливают непосредственно на деталь.

Низкий коэффициент оснащенности ТП в тяжелом машиностроении специальными приспособлениями из-за большой стоимости крупногабаритной оснастки приводит к установке деталей с выверкой по разметке по обработанным, а иногда и по необработанным поверхностям.

Объем разметочных работ в тяжелом машиностроении большой, и значимость этих работ велика. Неточность разметки может привести к браку.

Заготовки обрабатывают, как правило, методом пробных проходов, что требует высокой квалификации станочников.

Еще одна характерная особенность единичного производства изделий тяжелого машиностроения – длительный цикл производства. Изготовление уникальных деталей длится десятки и сотни часов, а иногда несколько суток. Это объясняется как приведенными выше обстоятельствами, так и большим объемом пригоночных работ.

Уменьшение цикла производства и трудоемкости изготовления машин тяжелого машиностроения обеспечивается следующими мероприятиями:

внедрением типовой технологии на основе унификации и стандартизации деталей;

использованием станков с ЧПУ, особенно при изготовлении деталей сложной формы;

применением универсальной оснастки с механизированным зажимом деталей;

увеличением концентрации операций ТП, повышением технологичности конструкции деталей;

созданием специализированных цехов и участков с замкнутым циклом производства;

внедрением групповых методов обработки, способствующих повышению серийности изготовления деталей и сокращению времени на переналадку.

Прецизионное машиностроение

Одной из важнейших является проблема обеспечения точности – одного из основных показателей качества машин. За последние годы точность изделий машиностроительного производства заметно возросла. Примерами прецизионных изделий являются гироскопы, турбодетандеры, турбокомпрессоры, электро- и пневмошпиндели станков, шпиндельные узлы металлорежущих станков и др. Важным условием производства таких изделий является не только обеспечение высокой точности, но и сохранение

ее на заданный срок эксплуатации изделий. Прецизионное машиностроение, роль которого в будущем будет постоянно возрастать, связано с ТП на основе механической обработки резанием. Установлено, что качество и, в частности, надежность прецизионных машин обеспечивается ограниченным числом деталей и соединений. Поэтому усилия технологов должны быть направлены на разработку процессов изготовления именно таких деталей (типа валов, втулок, гильз, колец, плит, корпусов и некоторых других). В настоящее время разработаны ТП, позволяющие обеспечить производство деталей с отклонениями от круглости $0,2 \ldots 0,5$ мкм и параметром шероховатости $Ra = 0,04 \ldots 0,08$ мкм. Производство высокоточного оборудования отличается от производства оборудования нормальной точности. Как правило, конструкция высокоточного оборудования не представляет секрета. Основные возможности достижения высокой точности лежат в области технологии. ТП высокоточной обработки предусматривают неожиданные, нестандартные решения. Это связано с погрешностями, которые возникают в процессе изготовления, с влиянием внешних факторов и т.п. Учет этих факторов при обработке является необходимым условием достижения высокой точности. Оригинальные ТР, позволяющие достигать высокую точность, как правило, являются секретом фирм-изготовителей.

Решение многих технологических проблем высокоточного машиностроения возможно на основе учения о технологической наследственности.

Более тщательно необходимо подходить к выбору материала и метода получения заготовок, при этом необходимо использовать весь комплекс имеющихся средств: оптимизация химического состава, модификация, легирование и др.

Необходимо также широко применять современные методы старения, особенно базовых деталей. Для высокоточных, корпусных деталей изделий, в которых динамическая устойчивость и геометрическая термостабильность

являются важнейшими факторами, необходимо применять материалы с повышенным внутренним демпфированием (естественный гранит, полимербетон, синтегран).

Особое внимание для сохранения точности следует уделять твердости основных деталей. Для этого нужно широко применять современные методы упрочнения: ионную цементацию, плазменные методы нанесения износостойких покрытий, лазерную закалку. Кроме того, необходимо внедрять малодеформационные методы упрочнения (ионная цементация и азотирование), стабилизирующую термическую обработку.

При изготовлении прецизионных изделий очень важным является уменьшение тепловых деформаций при обработке заготовок. Например, путем разработки высокоэффективных средств охлаждения, широкого использования средств технической диагностики для контроля и регулирования температуры. При этом необходимо пересмотреть структуру технологических операций, обратив особое внимание на разработку и изготовление металлорежущих станков для финишной обработки.

Особая роль в производстве прецизионных деталей отводится металлорежущему инструменту. Необходимо расширение номенклатуры вспомогательного инструмента.

В настоящее время точность прецизионных машин достигается путем доводки (притирки) деталей и ручной пригонки, требующих огромных затрат труда и времени. Причем качество полученных изделий зависит от квалификации, навыков, интуиции рабочего. Такое положение нельзя назвать удовлетворительным. Развитие производства требует устранения малопроизводительных методов обработки, слабо поддающихся автоматизации, таких как доводка и пригонка, замены их высокопроизводительными методами, гарантирующими достижение требуемой точности. Тем не менее технологическое обеспечение прецизионной точности изделий остается уделом ограниченного круга высококвалифицированного персонала предприятий.

Решение вопросов повышения технического уровня и качества выпускаемой продукции, надежности изделий невозможно без метрологического обеспечения производства, которое является частью комплексной системы управления качеством выпускаемой продукции.

Метрологическое обеспечение – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерения.

Задачей метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации является анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытания, эксплуатации и ремонта изделий.

Выбор средств измерений зависит от габаритных размеров, конфигурации и требований к точности объектов контроля.

Необходимость измерения больших по размерам поверхностей предполагает применение специального инструмента и особых методов. Измерительный инструмент, как правило, универсальный, повышенной жесткости, а измерение – прямое или косвенное. При прямом методе используют концевые, штриховые или штрихоконцевые меры длины.

Плоскопаралельные концевые меры длины применяют для поверки и установки на размер микрометров, скоб и других приборов, а иногда и для непосредственных измерений.

Широкое распространение получили методы и средства измерений с применением уровней. В гидростатических уровнях в качестве базовой (опорной) поверхности используют границу раздела жидкости с окружающей средой. Для контроля отклонений формы и расположения поверхностей в монтажной практике нашло также применение нивелирование и микронивелирование.

Одним из основных путей совершенствования измерений в условиях единичного производства является использование координатно-измерительных машин, которые позволяют автоматизировать установочные и настроечные операции, а также операции по обработке результатов измерений. Координатно-измерительная машина способна зафиксировать несколько циклов измерений, соответствующих различным изделиям.

4.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

4.2.1. Методы получения заготовок и припуски

Литые заготовки

Основой крупных и уникальных машин являются моноблочные детали сложной формы с большими габаритными размерами и массовыми характеристиками.В процессе эксплуатации такие детали воспринимают усилия в тысячи тонн.

На предприятиях тяжелого машиностроения выпуск отливок массой свыше 5000 кг достигает 45 % от общего выпуска литых заготовок. Получившие наибольшее распространение стальные и чугунные заготовки изготовляют литьем в песчаные и металлические формы, центробежным литьем и реже по выплавляемым моделям. Качество отливок регламентируется ГОСТ 26645 – 85 и ГОСТ 25347 – 82.

Для единичного производства ручная формовка по деревянным и газифицируемым моделям часто остается единственным способом получения отливок. Она характеризуется высокой трудоемкостью, значительными припусками, низкими точностью получаемых размеров и качеством поверхностей отливок вследствие неоднородности набивки форм.

При машинной формовке чаще всего удается механизировать землеподачу, уплотнение формовочной смеси в опоке и извлечение моделей из формы. Это позволяет повысить производительность процесса и качество отливок, точность их размеров и улучшить условия труда рабочих. В качестве технологического оснащения заготовительных цехов используют крупные пескометы, встряхивающие столы, тяжелые формовочные машины, формы массой до 10 т.

Способ центробежного литья применяют главным образом для получения заготовок типа тел вращения (втулок, венцов зубчатых колес, гаек винтов нажимных устройств и т.п.) с диаметральными размерами до 2000 мм и массой до 3 т. При этом получают более тонкостенные отливки, в том числе из сплавов с низкой жидкотекучестью; достигают более жестких допусков на размеры, большей плотности и повышенных физико-механических свойств заготовок по сравнению с литьем в песчаные формы.

В силу особенностей единичного производства литье в металлические формы применяют сравнительно редко. Этим способом изготовляют заготовки поддонов для изложниц, надставок, крупных шкивов, не имеющие выступающих частей. В противном случае при усадке в отливке появляются трещины.

Припуски на обработку, допуски размеров, формы и расположения, неровности поверхности, допуски массы на отливки из черных и цветных металлов и сплавов регламентируют по ГОСТ 26645 – 85. Вместе с тем, некоторые предприятия разрабатывают и используют нормативные материалы, учитывающие особенности изготовляемой ими продукции.

Так, для крупных деталей рекомендуют увеличивать припуски на 5...8 мм в случае, если они подвергаются старению после черновой обработки. Уменьшения припусков добиваются путем правильного построения маршрута механической обработки заготовки и совершенствования

технологии литья. В ряде случаев удается перейти от изготовления стальных отливок поковок к производству отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, временным сопротивлением до 686 МПа, пределом текучести до 441 МПа и относительным удлинением после отжига 10 %. Из высокопрочного чугуна отливают траверсы и подушки рабочих клетей, плиты окалиноломателей блюминга, коленчатые валы, станины молотов, зубчатые венцы и другие детали массой до 15 т. Это позволяет получать отливки на 20...25 % дешевле стальных отливок и в 3...4 раза дешевле поковок.

Поковки

Наиболее тяжело нагруженные, ответственные, а также трудно демонтируемые для ремонта детали изготовляют из заготовок, получаемых методами горячего пластического деформирования металла. Для таких деталей используют углеродистые и легированные стали с временным сопротивлением до 980 МПа.

Основным методом получения поковок в условиях единичного производства является свободная ковка. Форма таких заготовок должна быть симметричной, образованной простыми геометрическими фигурами с плавными переходами. Их поверхность имеет значительные дефекты в виде местных вмятин, следов ковочных ударов, неравномерных слоев окалины. После нескольких нагревов толщина дефектного слоя достигает 7 мм и более. Поэтому форма заготовки может значительно отличаться от формы детали, а величина припуска для заготовок, полученных свободной ковкой, определяется отклонениями, возникающими в процессе их формообразования.

При разработке маршрута термообработку поковок рекомендуется проводить до начала черновых операций механической обработки, что способствует снижению величины припуска и цикла их изготовления.

Приведенные рекомендации следует учитывать особенно при производстве колонн прессов, коленчатых валов мощных машин, крупных роторов генераторов и т.п.

Экономическая целесообразность замены заготовок, полученных свободной ковкой, на штампованные заготовки все больше склоняется в пользу последних. Это характерно при изготовлении сложных или небольших повторяющихся партий заготовок.

Сварные (комбинированные) заготовки

Технологические припуски на сварные и комбинированные заготовки устанавливают в зависимости от наибольшего размера обрабатываемой поверхности и размера между технологической базой и поверхностью, подлежащей обработке (рис. 4.1,*а*).

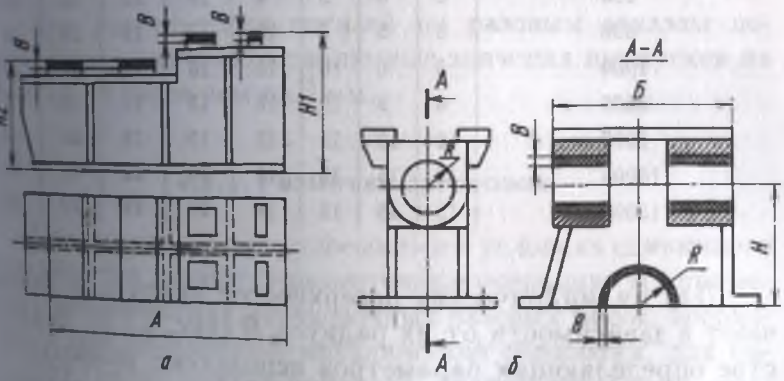


Рис. 4.1. Припуски на плоские (*а*) и цилиндрические (*б*) поверхности сварных конструкций

Под наибольшим размером A условно принимают бóльшую сторону прямоугольника, описывающего общий контур обрабатываемой поверхности.

Припуск B на обработку поверхностей, расположенных в одной плоскости, но на различном расстоянии от технологической базы, должен быть одинаковым.

Под наибольшим размером $H1$ и $H2$ между обрабатываемыми плоскостями понимают максимальное расстояние между обрабатываемыми элементами сварной заготовки, включая их длины. Учитывают также наибольшее расстояние от технологической базы до обрабатываемой поверхности.

После обработки плоских элементов металлоконструкций их толщина не должна быть меньше 3 мм. Значения припусков для них приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. **Припуски на обработку плоских поверхностей**

Размер от технологической базы до обрабатываемой плоскости, мм	Наибольший размер обрабатываемой плоскости, мм							
	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
50	4	5	5	5	10	10	12	15
250	5	5	5	8	10	12	15	15
500	5	5	8	10	12	15	15	15
1000	5	5	10	10	15	15	15	15
2500	6	8	10	15	15	15	18	18
5000	10	10	15	15	15	18	20	20
10000	12	15	15	18	20	22	22	22
15000	15	15	15	18	20	22	22	22

Для цилиндрических поверхностей припуск B назначают в зависимости от их радиуса R (рис. 4.1,*б*). В качестве определяющих параметров используют наибольшую длину образующей $Б$ или расстояние H между технологической базой и центром цилиндрической поверхности. Припуски на обработку цилиндрических поверхностей выбирают из табл. 4.2.

С учетом правки заготовок значения припусков можно снизить на 30 %. Если конструкции изготовлены из средне- и высокоуглеродистых сталей, то приведенные в табл. 4.1, 4.2 значения припусков следует увеличить на 30 %.

Таблица 4.2. **Припуски на обработку цилиндрических поверхностей**

Длина образующей, или размер между технологической базой и осью цилиндрической поверхности, мм	Радиус обрабатываемой поверхности, мм							
	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
100	5	6	8	10	12	12	12	15
250	6	8	10	12	12	12	15	15
500	8	10	12	15	15	15	18	18
1000	10	12	15	15	18	18	20	20
2000	12	12	15	18	18	20	20	22
3000	12	12	15	18	20	20	22	22
4000	12	15	18	20	20	22	22	22
5000	15	15	18	20	20	22	22	22

При изготовлении деталей по разовым заказам допускается увеличивать табличные значения припусков на 15 %, но не более чем на 3 мм.

4.2.2. Разметка заготовок

Специфичными и трудоемкими в условиях единичного производства являются разметочные операции. Их применяют для нанесения установочных базовых рисок, необходимых для дальнейшей механической обработки, для нанесения границ снятия припуска, границ обработки, правильного распределения припуска на обработку, контроля геометрических форм и размеров заготовок и деталей.

Разметочная операция связана с процессом вычерчивания на поверхностях заготовки различных геометрических элементов, заданных на рабочем чертеже. Плоскостную или пространственную разметку применяют в соответствии с характером размечаемой поверхности.

Построение того или иного геометрического элемента связано с необходимостью задания вычерчивающему ин-

Под наибольшим размером $H1$ и $H2$ между обрабатываемыми плоскостями понимают максимальное расстояние между обрабатываемыми элементами сварной заготовки, включая их длины. Учитывают также наибольшее расстояние от технологической базы до обрабатываемой поверхности.

После обработки плоских элементов металлоконструкций их толщина не должна быть меньше 3 мм. Значения припусков для них приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. **Припуски на обработку плоских поверхностей**

Размер от технологической базы до обрабатываемой плоскости, мм	Наибольший размер обрабатываемой плоскости, мм							
	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
50	4	5	5	5	10	10	12	15
250	5	5	5	8	10	12	15	15
500	5	5	8	10	12	15	15	15
1000	5	5	10	10	15	15	15	15
2500	6	8	10	15	15	15	18	18
5000	10	10	15	15	15	18	20	20
10000	12	15	15	18	20	22	22	22
15000	15	15	15	18	20	22	22	22

Для цилиндрических поверхностей припуск B назначают в зависимости от их радиуса R (рис. 4.1,*б*). В качестве определяющих параметров используют наибольшую длину образующей $Б$ или расстояние H между технологической базой и центром цилиндрической поверхности. Припуски на обработку цилиндрических поверхностей выбирают из табл. 4.2.

С учетом правки заготовок значения припусков можно снизить на 30 %. Если конструкции изготовлены из средне- и высокоуглеродистых сталей, то приведенные в табл. 4.1, 4.2 значения припусков следует увеличить на 30 %.

Таблица 4.2. **Припуски на обработку цилиндрических поверхностей**

Длина образующей, или размер между технологической базой и осью цилиндрической поверхности, мм	Радиус обрабатываемой поверхности, мм							
	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
100	5	6	8	10	12	12	12	15
250	6	8	10	12	12	12	15	15
500	8	10	12	15	15	15	18	18
1000	10	12	15	15	18	18	20	20
2000	12	12	15	18	18	20	20	22
3000	12	12	15	18	20	20	22	22
4000	12	15	18	20	20	22	22	22
5000	15	15	18	20	20	22	22	22

При изготовлении деталей по разовым заказам допускается увеличивать табличные значения припусков на 15 %, но не более чем на 3 мм.

4.2.2. Разметка заготовок

Специфичными и трудоемкими в условиях единичного производства являются разметочные операции. Их применяют для нанесения установочных базовых рисок, необходимых для дальнейшей механической обработки, для нанесения границ снятия припуска, границ обработки, правильного распределения припуска на обработку, контроля геометрических форм и размеров заготовок и деталей.

Разметочная операция связана с процессом вычерчивания на поверхностях заготовки различных геометрических элементов, заданных на рабочем чертеже. Плоскостную или пространственную разметку применяют в соответствии с характером размечаемой поверхности.

Построение того или иного геометрического элемента связано с необходимостью задания вычерчивающему ин-

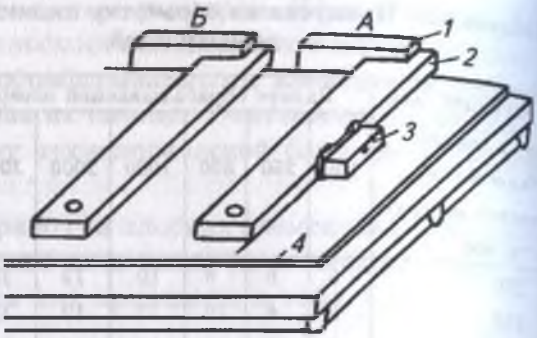


Рис. 4.2. Плоскостная разметка прямой линии

струменту строго определенной траектории движения, которая, в свою очередь, определяется характером кинематических связей между применяемыми для разметки инструментами, обуславливающими их взаимные перемещения.

В случае разметки прямой линии специальной чертилкой ей необходимо обеспечить прямолинейное движение, для чего используют кинематическую связь, представленную в виде простейшей поступательной пары (рис. 4.2). Здесь одним соединяемым звеном является линейка *1*, другим – чертилка *3*. Линейка неподвижно связана с размечаемой поверхностью *4*, чертилку перемещают по направляющим поверхностям *2* и *3*.

При помощи пространственных кинематических связей, реализуемых с помощью соответствующих разметочных инструментов и приспособлений, осуществляют пространственную разметку.

В связи с необходимостью разметки деталей самых разнообразных конфигураций и размеров используют большое число универсальных и специальных разметочных инструментов. Это универсальные и плоские чертилки, кернеры, рейсмусы, центроискатели, штангенциркули и т.п.

Эффективным путем уменьшения трудоемкости разметочных операций является развитие методов разметки по шаблонам.

Все разметочные работы предусматривают использование контрольно-измерительных инструментов и приспособлений универсального и специального назначения. Линейные размеры контролируют стальными линейками, рулетками и наборами плиток концевых мер, угловые – угольниками и угломерами.

Важным вопросом при проектировании операции разметки является выбор баз. Необходимо определить какими поверхностями заготовку следует устанавливать на разметочную плиту и от каких базироваться при разметке. Назначенные базовые поверхности заносят в операционные разметочные карты.

Для случая плоскостной разметки рекомендуется следующая последовательность выполнения приемов работы. Сначала выбирают разметочные технологические базы. Ими могут быть ребра заготовок, кромки листов, различные риски. Приоритет здесь следует отдавать точно обработанным поверхностям. Далее проводят риски, параллельные базовым поверхностям, перпендикулярные им и наклонные, а затем окружности, дуги и лекальные кривые.

При последовательном выполнении ряда графических построений происходит накопление погрешности разметки, поэтому разметка дорогостоящих сложноконтурных деталей требует выполнения каждого элементарного построения с максимальной точностью.

4.2.3. Установка заготовок на оборудование и выверка

Особенности установки и закрепления заготовок

Обеспечение точности обработки, безопасности работы и сохранности станков при изготовлении крупных деталей связано с соблюдением определенных правил установки и закрепления заготовок. В единичном производстве заготовки чаще всего устанавливают в универсальные приспособления (патроны, жесткие и вращающиеся центры,

тиски, различные поворотные и делительные устройства и т.д.), которые закрепляют на столе станка или на рабочей плоскости стола с помощью различных прижимов и прокладок.

Для закрепления выбирают поверхности, максимально удаленные одна от другой. При этом должно быть обеспечено полное прилегание установочных поверхностей заготовки к установочным поверхностям приспособления или прокладкам с обязательным размещением прижимов над ними.

Необходимо также учитывать жесткость закрепляемых заготовок. Так, для токарной обработки жестких валов (отношение $L/d < 2$) заготовку закрепляют в патроне, в противном случае один из концов поджимают задним центром. Нежесткие валы (отношение $L/d > 15$) обрабатывают с применением поддерживающих люнетов, число которых определяют из соотношения

$$N = L/15d,$$

где L – длина заготовки, d – диаметр. Люнеты устанавливают на заранее проточенные в заготовках технологические пояски.

Формы и размеры центровых отверстий выбирают с учетом их использования в ходе ТП изготовления, транспортных работ или последующего хранения деталей, а также обеспечения повышенной точности обработки и суммарной массы деталей, собранных с валом.

Для сверления глубоких отверстий заготовку вала предварительно обтачивают по наружному диаметру, протачивают пояски под люнеты и для контроля подрезают торцы, размечают центры и проводят зацентровку. Обтачивание проводят с целью выявления возможных дефектов, уменьшения биения заготовки в процессе обработки и последующего ее коробления. Пояски под люнеты и для контроля точности установки заготовки на станке выполняют длиной около 50 мм с шероховатостью поверхности

$Rz = 40$ мкм. Отклонение от перпендикулярности обработанных торцев к оси просверливаемого отверстия выдерживают в пределах 0,2...0,5 мм. Соблюдение данных рекомендаций позволяет получить глубокие отверстия с уводом оси при сверлении сверлом одностороннего резания до 0,5...0,6 мм, а при растачивании головкой одностороннего резания до 0,4 мм на 1 м длины. Последующее растачивание с использованием плавающей пластины не уменьшает увод оси отверстия.

При установке тяжелых заготовок следует учитывать допустимую нагрузку на станок с учетом массы приспособлений и других вспомогательных устройств.

Детали типа корпусов и плит устанавливают так, чтобы до их закрепления зазор между установочной поверхностью детали и прокладкой, а также между рабочей поверхностью стола станка и прокладкой был не более 0,03...0,05 мм при чистовой обработке. В особых случаях значения этой величины задают в технологической карте.

Постоянное увеличение размерных и массовых характеристик изготовляемых деталей, интенсификация условий их обработки обусловили необходимость приложения бо́льших, чем ранее усилий для закрепления заготовок и инструментов.

С учетом того, что изготовление деталей на крупном оборудовании продолжается по несколько часов, а обеспечить герметичность и надежность гидросистем силовых устройств удается далеко не всегда, применяют дополнительные механические устройства, позволяющие после приложения необходимого усилия закрепления к заготовке отказаться от гидрозажима. Это создает безопасные условия работы и повышает долговечность силовых устройств. Данный принцип широко используется в современных конструкциях приспособлений.

Для выверки деталей на тяжелых расточных станках применяют пневмогидравлический домкрат (рис. 4.3), в котором для перемещения заготовки масло подают в рабочую полость между цилиндром *1* и поршнем *2* с помо-

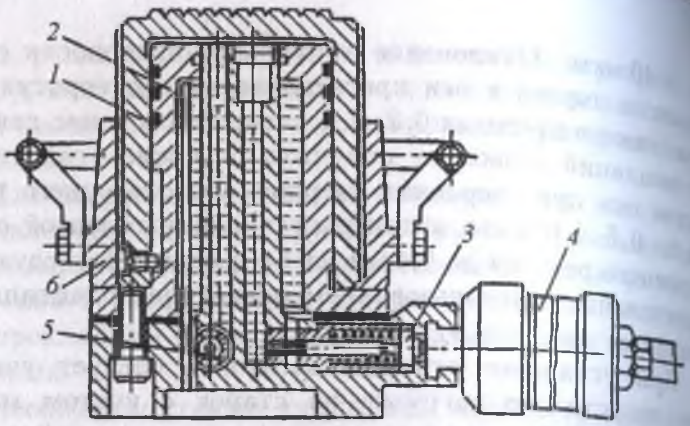


Рис. 4.3. Пневмогидравлический домкрат для выверки деталей на тяжелых станках

щью плунжерного насоса *3*, приводимого в действие пневмодвигателем *4*. Установленная на необходимую высоту заготовка фиксируется гайкой *6*. Посредством дроссельного крана *5* давление во внутренней полости домкрата уменьшается до атмосферного.

При закреплении заготовок широко используют универсальные гидроцилиндры. Одна из таких конструкций (рис. 4.4) приводится в действие вращением винта *8* с последующим перемещением вниз плунжера *7*. Выталкивая масло в полость между цилиндром *1* и поршнем *2*, добиваются перемещения поршня на необходимую величину. Таким образом, поднимают зажимную планку *5*, лежащую на бурте поршня и на детали. Планка предварительно прижата гайкой *6*. Герметичность системы обеспечивают уплотнения *3* и *4*. После закрепления гайкой *9* фиксируют верхнее положение поршня гидрозажима, а давление масла уменьшают.

Универсальный силовой цилиндр устанавливают по отношению к закрепляемой заготовке так, чтобы $l_1/l_2 \leq 1$. В этом случае усилие закрепления достигает 10...15 т.

Из широкой номенклатуры применяемых кулачков и кулачковых устройств следует отметить гидропластные кулачки.

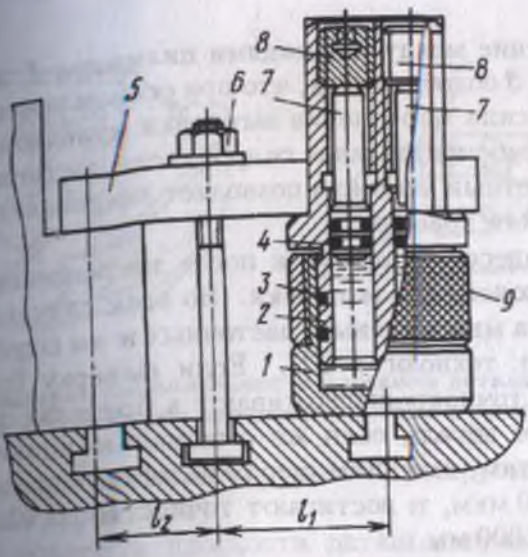


Рис. 4.4. Схема установки универсального силового гидроцилиндра на станке

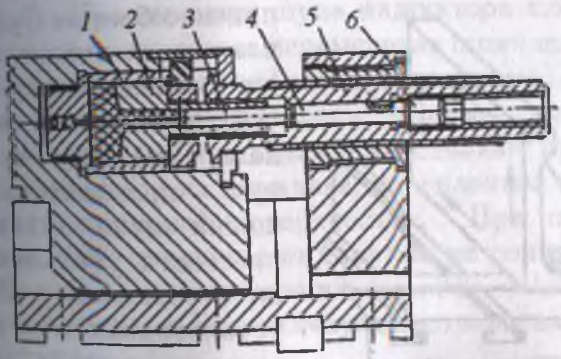


Рис. 4.5. Гидропластный кулачок одностороннего действия для токарных и карусельных станков

Кулачки одностороннего действия (рис. 4.5) успешно применяют на токарных и карусельных станках. Заготовку предварительно закрепляют винтом *5* с усилием 1,5...2,0 т, а окончательно – вращением внутреннего винта *6*, который давит на плунжер *3* через переходник *4*.

Соотношение между площадями цилиндра *1*, поршня *2* и плунжера *3* подобрано так, что при осевом усилии на винте *6* в 100 Н сила закрепления заготовки кулачком достигает 2000 Н, а рабочее давление гидропласта достигает 50 МПа. Гидропластный механизм позволяет закреплять заготовки в обхват или враспор.

В процессе установки и после закрепления проводят выверку положения заготовки. Во всех случаях точность выверки на многоцелевых, расточных и им подобных станках задает технолог в ТП. Если выверку проводят по разметке, точность выдерживают в пределах $\pm 0,5$ мм на всей длине детали, если же с помощью индикаторов по поверхностям, имеющим шероховатость в пределах $Ra = 2,5 \ldots 20$ мкм, то достигают точности $\pm 0,02 \ldots 0,03$ мм на длине 1000 мм.

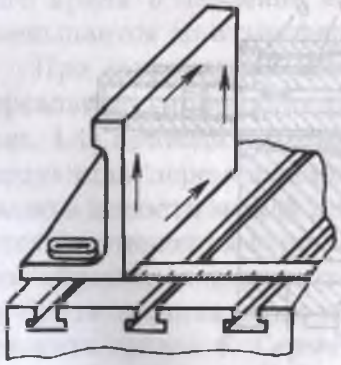
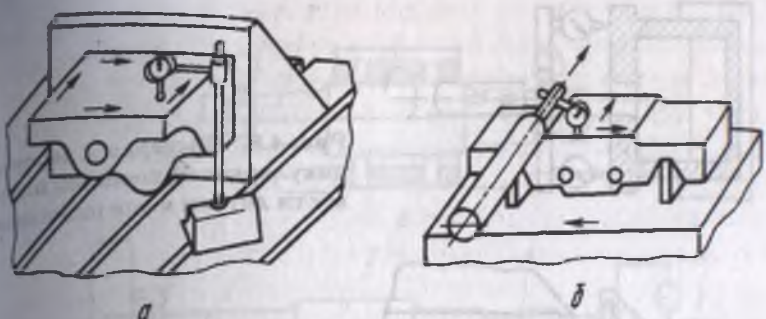


Рис. 4.6. Выверка параллельности плоскости угольника пазу стола и шпинделю

Предварительную выверку параллельности плоскости приспособления – угольника – пазу стола станка и шпинделю осуществляют масштабной линейкой относительно паза (рис. 4.6), окончательную – проводят при перемещении щупа индикатора по плоскости угольника (указано стрелками). Индикатор устанавливают на державку, закрепленную в шпинделе. Отметим, что выверку параллельности боковой поверхности корпусной детали оси шпинделя проводят аналогично.

Проверить параллельность плоскости детали плоскости стола станка можно, используя индикатор, закрепленный на стойке (рис. 4.7, *а*). Основание стойки перемещают



а *б*

Рис. 4.7. Выверка параллельности плоскости детали плоскости станка (*а*) и направлению перемещения стола и шпинделя (*б*)

по столу, а щуп индикатора – по контролируемой плоскости (указано стрелками).

Параллельность плоскости детали направлению перемещения стола и шпинделя выверяют также с помощью державки с индикатором, закрепленным в шпинделе (рис. 4.7,*б*). При касании щупа индикатора плоскости детали осуществляют осевое перемещение шпинделя и поперечное перемещение стола (указано стрелками).

Проверку перпендикулярности торцевой плоскости корпусной детали к оси шпинделя осуществляют при касании щупа индикатора на державке, закрепленной в шпинделе, с контролируемой поверхностью. При повороте шпинделя на 360° показания индикатора не должны превышать установленного значения (рис. 4.8). Аналогичным образом выверяют перпендикулярность оси вала к оси шпинделя станка.

Положение заготовки, при котором ось ранее обработанного отверстия должна быть параллельна оси шпинделя, выверяют с помощью державки с индикатором, закрепленной в шпинделе, и эталонной оправки, установленной в отверстие детали (рис. 4.9). Щуп индикатора при перемещении стола или шпинделя перемещают вдоль образующей эталонной оправки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В процессе выверки заготовку поворачивают в нужном направлении. По аналогии с этим осуществляют проверку параллельности осей вала и шпинделя.

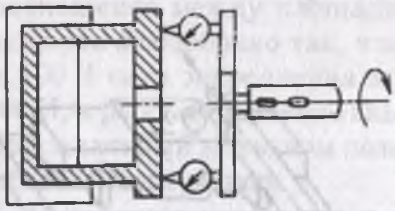


Рис. 4.8. Выверка перпендикулярности торцевой плоскости детали к оси шпинделя

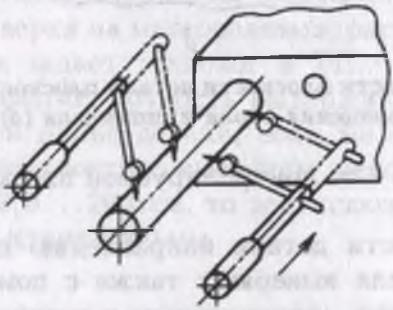


Рис. 4.9. Выверка положения заготовки, при котором ось ранее обработанного отверстия должна быть параллельна оси шпинделя

В зависимости от конструктивных особенностей валов, их габаритных размеров, массы, а также типов и характеристик станков для обработки глубоких отверстий используют схемы установки и выверки, показанные на рис. 4.10. Деталь *2* устанавливают в кулачках барабана *3* и предварительно выверяют рейсмусом, а окончательно – индикаторами *1* по контрольным пояскам с точностью до 0,2 мм (см. рис. 4.10, *а*), либо левый конец детали *2* (вала) закрепляют в кулачках барабана *3*, правый – в люнете *4*, а проверку биения осуществляют индикаторами *1* по контрольному пояску и оправке шпинделя *5* с точностью 0,1 . . . 0,2 мм (см. рис. 4.10,*б*).

4.2.4. Технология изготовления корпусных деталей

Единые технические условия на изготовление отдельных деталей прокатных станов пока не разработаны. Заводы и конструкторские бюро назначают их исходя из опыта своей работы или опыта работы на других предприятиях.

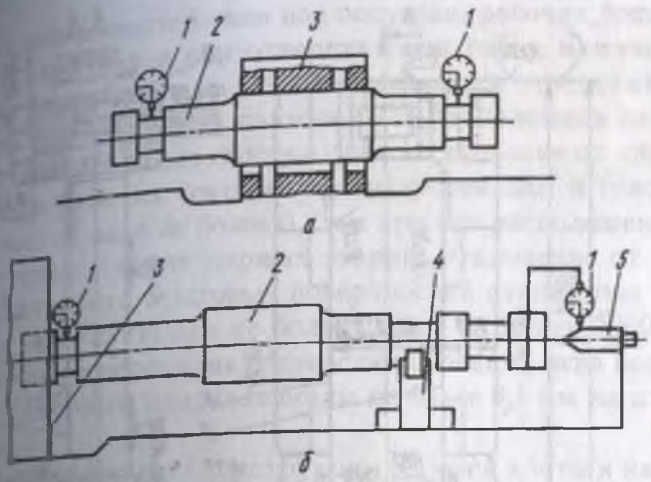


Рис. 4.10. Выверка положения вала при сверлении глубокого отверстия

Технологию изготовления корпусных деталей тяжелого машиностроения рассмотрим на примере станин рабочих клетей прокатных станов. Они бывают открытого и закрытого типа (рис. 4.11). Станины закрытого типа выполняют цельнолитыми, сварно-литыми или сборными в зависимости от оснащенности производства, габаритных размеров и массы. Их конструкция имеет вид замкнутой рамы. Станины открытого типа имеют две вертикальные стойки, отлитые совместно с основанием. Стойки соединены общей крышкой, закрепленной при помощи болтов и шпилек.

Основными обрабатываемыми поверхностями станин закрытого типа (см. рис. 4.11) являются направляющие *Л* и *М* проема под подушки прокатных валков; поверхности *Б*, *В*, *М*, *Н* лап с отверстиями *П*; плоскости *Е*, *Ж*, *З*, *И* разъема; отверстие *Д* горловины; верхняя плоскость *Г*; выточки *Р* для центрирования корпуса нажимного устройства; шпоночные пазы *С*. Аналогичные поверхности имеют станины открытого типа.

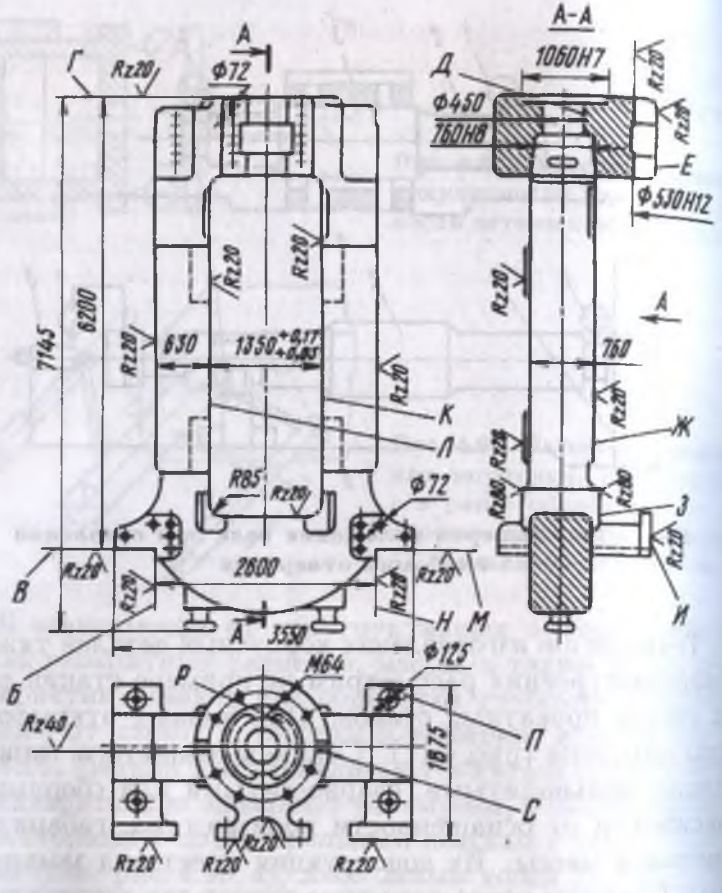


Рис. 4.11. Станина рабочей клети прокатного стана закрытого типа

Наиболее важные технические условия, предъявляемые к механической обработке станин и влияющие в значительной степени на эксплуатационные качества станов, следующие: несовпадение плоскостей лап станин не более 0,1 мм; отклонение профиля лап и размера между рабочими боковыми поверхностями лап парных станин не более 0,1 мм; отклонение от перпендикулярности боковых поверхностей окон под подушки к основанию лап не более 0,1 мм на длине 1000 мм; отклонение от параллельности

боковых поверхностей окон под подушки, рабочих боковых поверхностей лап и оси отверстия под гайку нажимного винта не более 0,1 мм на 1000 мм длины; ось отверстия под гайку нажимного винта должна быть расположена симметрично боковым поверхностям окон; отклонение от симметричности рабочих боковых поверхностей лап и боковых поверхностей окон не более 0,2 мм при его расположении в одну сторону у обоих парных станин; отклонение от перпендикулярности стыковых поверхностей станин под траверсы к основанию лап не более 0,1 мм на длине 1000 мм; отклонение от перпендикулярности основания окна под подушки к боковым направляющим не более 0,1 мм на длине 1000 мм.

В зависимости от конструкции рабочей клети и назначения прокатного стана технические условия на механическую обработку могут изменяться или дополняться требованиями, характерными для данной рабочей клети. Так, если установочный механизм верхнего валка имеет механический привод, отклонение от параллельности верхней плоскости станины и опорных поверхностей лап допускается не более 0,1 мм на 1000 мм.

Кроме того, необходимо выдержать одновысотность обоих парных станин, т.е. одинаковый размер от опорных поверхностей лап до верхней плоскости станины. Отклонение размера должно быть выдержано в пределах $\pm 0,2$ мм на длине 5...6 м.

Когда опорой для нижней подушки является нижняя поверхность окна, она должна быть параллельна опорным поверхностям лап; допустима непараллельность не более 0,15 мм на длине 1000 мм.

Смещение окон под подушки двух парных станин относительно правильно установленных лап допускается не более 0,1...0,2 мм для станов, валки которых расположены в подшипниках качения или жидкостного трения, и не более 1...2 мм для станов, валки которых установлены в подшипниках скольжения (на подушках с текстолитовыми вкладышами) и т.д.

Анализ технических требований на изготовление деталей прокатного производства показывает широкий диапазон точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей деталей.

К проектированию ТП станин рабочих клетей необходим индивидуальный подход, так как велико разнообразие их конструкций.

Для станин закрытого типа высотой до 4000... ...5000 мм типовой маршрут обработки следующий.

1. Размечают основные поверхности станины на разметочной плите.

2. Устанавливают на стол строгального станка комплект парных станин и обрабатывают одновременно плоскости лап и верхние плоскости станин, а также технологические базы. Заготовки кладут на бок на коробчатые подставки и крепят болтами к пазам стола. Для создания необходимой устойчивости заготовок при обработке применяют дополнительные распорки.

3. Обрабатывают боковые направляющие и основание проема станины на строгальном или расточном станке.

4. Размечают отверстия.

5. Сверлят на расточном станке все отверстия в лапах, на верхней части и на наружных сторонах стоек.

6. Сверлят на сверлильном станке все оставшиеся отверстия на плоскостях разъема лап и стоек.

7. Размечают все основные поверхности за два установа станины на разметочной плите.

8. Обрабатывают на строгальном или расточном станке боковые направляющие и основание проема станины по размерам, указанным в рабочем чертеже (рис. 4.12 *а*). На расточном станке фрезеруют плоскости и пазы проема угловой поворотной головкой (рис. 4.12, *б*).

9. Устанавливают станину на ребро B лапы на стол рабочего станка и поверхностью A на призму отверстиями диаметром 520 мм к шпинделю станка. Растачивают отверстия под распорки и два отверстия диаметром

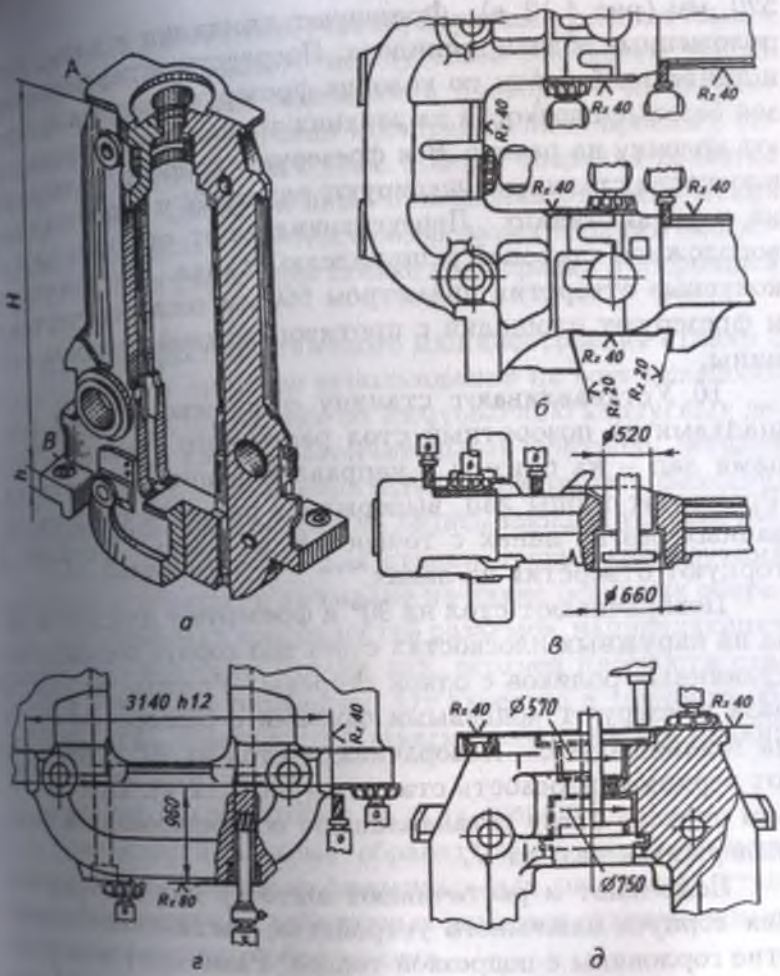


Рис. 4.12. **Эскизы основных операций механической обработки станины закрытого типа:**

а – общий вид станины; *б* – обработка направляющих проема; *в* – обработка площадок и отверстий под станинные ролики; *г* – растачивание отверстий и фрезерование площадок верха станины; *д* – фрезерование торцев лап и сверление отверстий под уравновешивающее устройство

520 мм (рис. 4.12, *в*). Фрезеруют площадки и пазы, расположенные вблизи шпинделя. Посредством перемещения шпиндельной бабки по колонне фрезеруют концевой фрезой базовые плоскости на верхних торцах лап. Перемещают колонну на размер H и фрезеруют полоску на верхней плоскости станины. Фиксируют размер H и переносят его на парную станину. Переустанавливают станину противоположной стороной к шпинделю станка. Растачивают конусные отверстия диаметром 660 мм согласно чертежу и фрезеруют площадки с противоположной стороны станины.

10. Устанавливают станину отфрезерованными площадками на поворотный стол расточного станка, а торцами лап – на призмы в направлении шпинделя станка. Фрезеруют торцы лап, выдерживая размер h от фрезерованных баз на лапах с точностью до 0,1 мм. Сверлят и торцуют отверстия на лапах.

Поворачивают стол на 90° и фрезеруют плоскости паза на наружных плоскостях стоек под корпус подшипника станинных роликов с одной стороны. Угловые плоскости паза фрезеруют концевыми фрезами с разворотом стола на заданный угол. Поворачивают стол на 90° и фрезеруют верхнюю плоскость станины (рис. 4.12, *г*). При чистовом проходе фрезу устанавливают по фрезерованной базе, выдерживая размер H.

Подрезают и растачивают выточку для центрирования корпуса нажимного устройства, растачивают отверстие горловины с подрезкой торцев. Размечают и сверлят отверстие на верхней плоскости станины. Поворачивают стол на 90° и фрезеруют паз под корпус подшипника станинных роликов с противоположной стороны.

11. Устанавливают станину торцами лап к шпинделю расточного станка. Размечают отверстия под уравновешивающие устройства (рис. 4.12, *д*) и сверлят специальными головками методом глубокого сверления.

12. Устанавливают две парные станины на ребро B и поверхностью A на призму, расположенную на плит-

ном настиле расточного станка, верхними плоскостями к шпинделю. Совмещают между собой плоскости торцев лап по контрольным линейкам и проверяют совпадение верхних плоскостей станин и направляющих проема с помощью щупа толщиной 0,1 мм. Данная операция является контрольной. Обнаруженные отклонения от технических условий исправляют путем фрезерования верхних плоскостей станин на расточном станке до отправки в сборочный цех.

На предприятиях тяжелого машиностроения станки с ЧПУ получили широкое использование на всех механообрабатывающих операциях по изготовлению корпусных деталей. В ряде случаев окончательный контроль деталей ведут на контрольно-измерительных машинах с фиксацией измеряемых параметров на записывающем устройстве.

При разработке ТП для станин других конструкций необходимо обращать внимание на такие основные операции, как обработка поверхностей разъемов, направляющих проема под подушки, торцев лап, верхней плоскости станины и отверстия горловины. От качества и точности обработки этих поверхностей зависит собираемость станин рабочих клетей.

Рассмотрим некоторые из этих операций.

Поверхности разъема обрабатывают на продольно-строгальных, продольно-фрезерных или расточных станках в зависимости от габаритных размеров станины и имеющегося станочного обрудования.

Станину выверяют по осевым и разметочным рискам с использованием домкратов и распорок, крепят болтами и планками в местах расположения опор.

При черновых переходах поверхности разъемов обрабатывают одновременно двумя вертикальными суппортами. Чистовой проход осуществляют с одного хода резца или фрезы одним и тем же суппортом для обеспечения высоких требований, предъявляемых к плоскостности этих поверхностей.

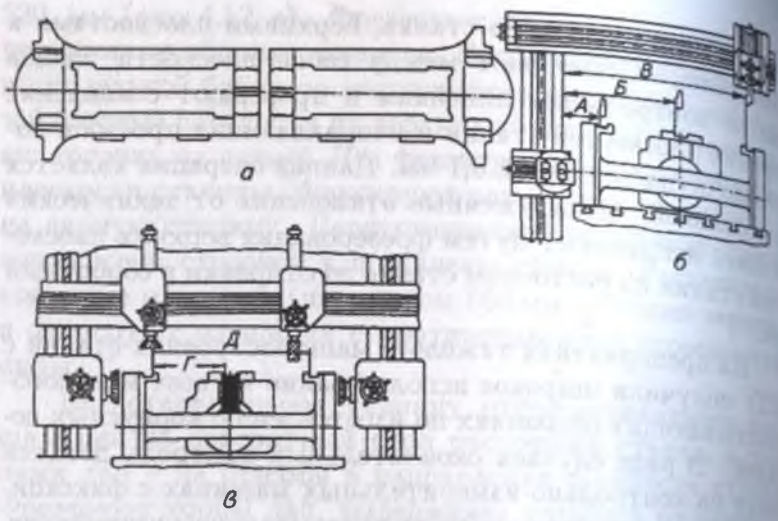


Рис. 4.13. Эскизы установки парных станин (*а*) и их одновременной обработки на продольно-строгальном (*б*) и продольно-фрезерном (*в*) станках

Для фиксации парных станин между собой при сборке на плоскостях разъема каждой станины предусматривают шпоночные пазы, расположенные вдоль продольной оси станины. Как правило, эти пазы обрабатывают за один установ.

При парной обработке шпоночных пазов вдоль стола устанавливают одновременно правую и левую станины (рис. 4.13, *а*). Поэтому нет необходимости в выдерживании с высокой точностью размеров между осями шпоночных пазов, так как при таком способе обработки их совпадение будет обеспечено.

Обрабатывая поверхности разъемов фланцевых приливов на продольно-строгальном станке (рис. 4.13, *б*), фактические размеры $А$, $Б$, $В$ замеряют штихмасом от направляющей боковой стойки станка до режущей кромки резца и выдерживают их одинаковыми у парных станин.

На продольно-фрезерном станке подобные размеры выдерживают аналогичным способом либо путем непосредственного измерения размера $Г$. С этой целью к ста-

нине приваривают бобышку (на рис. 4.13, в она зачернена) и фрезеруют одновременно паз на торце фланца горловины и в технологической бобышке. Измерения ведут от паза в бобышке до пазов, расположенных на поверхности разъема лап. После чего выдерживают размер $Д$.

На расточных станках размеры между шпоночными пазами выдерживают одним из описанных способов либо путем непосредственного измерения расстояния между пазами по отсчетному устройству станка при касании концевой фрезой одной из сторон паза.

Одновременно с плоскостями разъема и шпоночными пазами проводят обработку остальных поверхностей, доступных для выполнения с одного установа.

Направляющие проема станин под подушки имеют прямоугольную или ступенчатую конфигурацию. Наиболее часто их обрабатывают строганием на поперечно-строгальных станках, фрезерованием на расточных станках, строганием на продольно-строгальных станках.

Поперечно-строгальный станок используют, когда проем имеет много ступеней и пазов, расположенных в поперечном направлении на боковых направляющих и на основании станины. Станину устанавливают в горизонтальном положении на ребро, а обработанными боковыми площадками – на призмы. Выверку ведут по обработанным плоскостям разъемов с точностью до $0,1 \ldots 0,15$ мм на длине 1000 мм. Если боковые площадки не обработаны, станину устанавливают на ребро и горловиной на призму с выверкой по осевым рискам и по разметке (рис. 4.14).

Последовательность строгания такова, что по разметке осуществляют грубую обработку окна, а при чистовой обработке сначала строгают сторону направляющей проема той стойки, на которой созданы боковые базы B, выдерживая размеры l_7 и l_{11} от базы B с заданной по технологии точностью. В данном случае точность выполнения размеров зависит от допустимого смещения проемов у парных станин. С помощью размеров l_4 и l_5 при строгании выдерживают размер от торцев лап и базы $Г$ до осно-

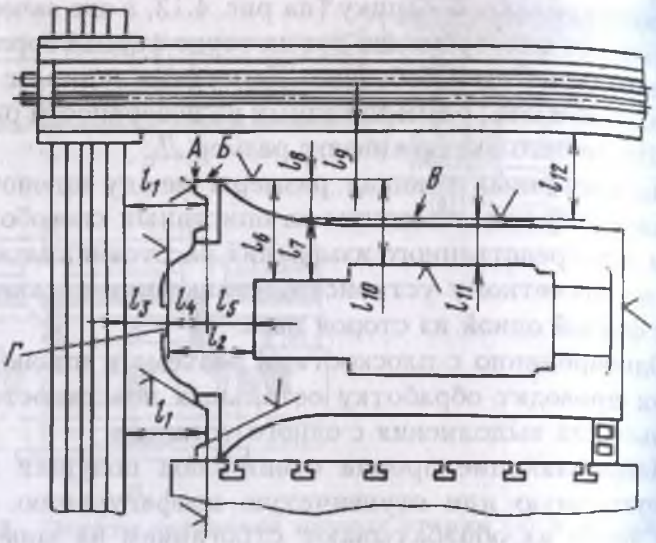


Рис. 4.14. Схема расположения измерительных баз для обеспечения точности размеров обрабатываемых поверхностей проема станины. Все поверхности обрабатывают до $Rz = 20$ мкм

вания проема. При этом предусматривают необходимый припуск, если торцы лап не обработаны.

С этого же установа строгают другую боковую направляющую с допусками, указанными на рабочем чертеже, что позволяет достаточно просто добиться параллельности направляющих между собой.

Установку и выверку парных станин при фрезеровании направляющих проемов на расточном станке ведут способом, аналогичным используемому для поперечно-строгального станка. Черновую обработку направляющих проема осуществляют цилиндрическими сборными фрезами, чистовую – цельными или насадными концевыми фрезами. За один установ заготовки обрабатывают все поверхности с наружной стороны станины.

Данный способ обработки особенно эффективен, когда вдоль направляющих парной станины имеется боль-

шое количество продольных пазов, а объем обработки их значителен. Он позволяет повысить производительность обработки на 20...30 % по сравнению со строганием на поперечно-строгальном станке, однако шероховатость фрезерованной поверхности при этом несколько хуже. Вследствие большого вылета шпинделя и отжима фрезы непараллельность направляющей достигает 0,2...0,3 мм на ширине проема.

Если направляющие проемов парных станин не имеют переходов и уступов, их можно обрабатывать на продольно-строгальных станках. Станины устанавливают обработанными плоскостями разъемов горловины и лап на стол станка, выверку осуществляют по базовым площадкам индикатором с точностью до 0,1 мм на длине 3000 мм. В местах опор заготовку крепят болтами и планками и расклинивают с четырех сторон.

Обработку ведут вертикальными суппортами в закрытом контуре парной станины. Обработку торцев лап и верхних плоскостей парных станин осуществляют совместно или раздельно.

При совместной обработке за один установ строгают на продольно-строгальных или фрезеруют на расточных станках плоскости лап и верхние плоскости парных станин. Станины соединяют между собой промежуточными поперечинами. Это обеспечивает плоскостность торцев лап и верхних плоскостей станин.

Парное строгание ведут боковыми суппортами при одновременной обработке торцев лап и верхних плоскостей станин. Схема установки станин показана на рис. 4.14. Лапы и верхние плоскости станин строгают за два обдирочных, получистовой и чистовой проходы. Одновременно создают базы для выдерживания соосности проема окна с осью лап. Для этого наружную боковую плоскость $Б$ лапы и боковую плоскость $В$ стойки обрабатывают до $R_z = 40$ мкм. Для удобства применения контрольно-измерительных средств строгают базы $А$ и $Г$. Размеры l_1, l_3, l_9, l_{12} измеряют штихмасом от направляющих боковой

стойки и от траверсы станка до баз *Б*, *В*, *Г* и основания лап; размеры маркируют на базах *В* и *Г* (см. рис. 4.14).

Если габаритные размеры станины не позволяют применить продольно-строгальный станок, то аналогичную совместную обработку ведут на расточных станках.

Для сокращения цикла все большее распространение находят раздельные способы обработки парных станин.

Способ настройки фрез по мерным штихмасам применяют редко из-за его невысокой точности.

Выдерживая одинаковые размеры парных станин от торцев лап до плоскости горловины при нониусном способе, возможен вариант установки станин боковой стороной к шпинделю расточного станка. С целью обеспечения одновысотности парных станин фрезеруют боковые площадки *А* и *Б* на основании лап и верхних плоскостях станин (рис. 4.15, *а*).

Иногда после обработки плоскостей разъема фрезеруют базы на обеих лапах с обратной стороны торцев лап, перемещают шпиндель на технологический размер *Н* и фрезеруют верхние плоскости станин. Обрабатывая парные станины, размер *Н* выдерживают с точностью до 0,1 мм от фактического размера.

После создания баз по одному из описанных вариантов станины устанавливают торцами лап к шпинделю расточного станка и фрезеруют плоскости лап согласно размерам, приведенным на чертеже. Чистовой проход проводят заподлицо с ранее обработанными базовыми плоскостями. Затем заготовку переустанавливают верхней плоскостью к шпинделю и фрезеруют торцевые поверхности, примыкающие к верхним плоскостям станин. При чистовом проходе фреза должна касаться базовой площадки *А*.

Обеспечивая одновысотность парных станин способом раздельной обработки от постоянных баз по разметке, плоскости лап фрезеруют согласно размерам на чертеже отдельно у каждой станины на расточном станке. После этого станины устанавливают верхними плоскостями к шпинделю.

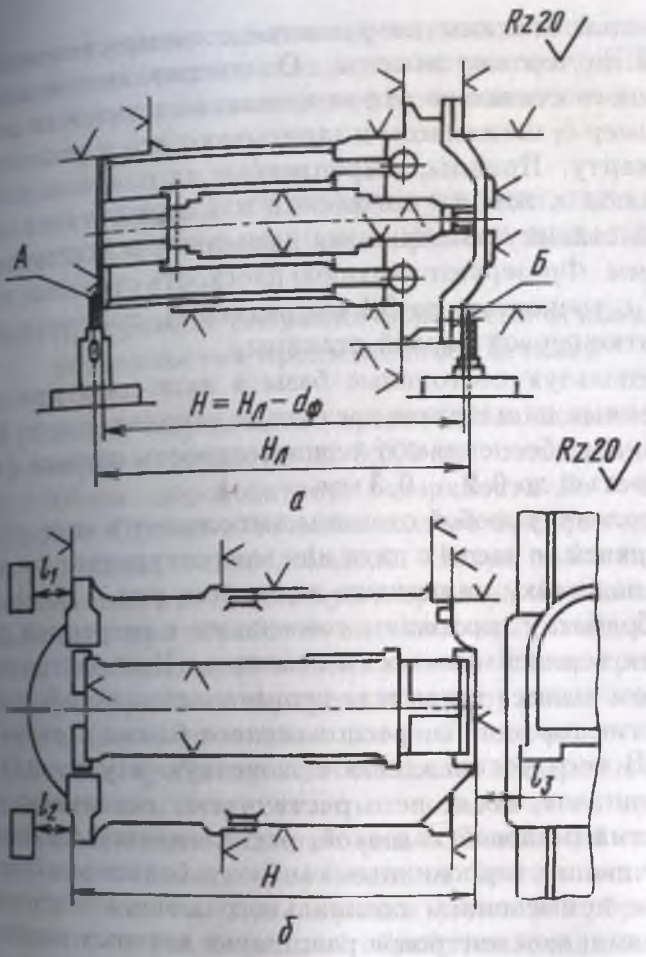


Рис. 4.15. Схемы обеспечения одновысотности парных станин при раздельной обработке по ониусной линейке (*а*) и от постоянных баз плитного настила и станка (*б*)

За первой станиной, напротив обработанных лап, устанавливают две контрольные призмы, которые тщательно выверяют (рис. 4.15, *б*). Фактические размеры l_1 и l_2 от призм до лап измеряют штихмасом и записывают в технологическую карту. Далее фрезеруют верхнюю плос-

кость этой станины по разметке с выдерживанием требуемой по чертежу высоты. От направляющей колонны расточного станка до отфрезерованной плоскости замеряют размер l_3 штихмасом и записывают его в технологическую карту. Призмы, закрепленные на плитном настиле, оставляют в том же положении и к ним устанавливают вторую станину, выдерживая размеры l_1 и l_2 с точностью до 0,1 мм. Фрезеруют верхнюю плоскость станины, выдерживая с точностью до 0,1 мм размер l_3, полученный при обработке первой парной станины.

Используя постоянные базы в виде двух призм, закрепленных на плитном настиле, и направляющую колонну станка, обеспечивают одновысотность парных станин с точностью до $0,2 \ldots 0,3$ мм.

Горловину любой станины выполняют в виде утолщения верхней ее части с двух или многоступенчатым отверстием под гайку нажимного винта (см. рис. 4.12, *а*).

Обработку горловины совмещают с операцией фрезерования верхней плоскости станины. При растачивании способом вылета шпинделя первоначально обрабатывают отверстие горловины, расположенное ближе к станку, по $IT9$. В него устанавливают люнетную втулку для опоры шпинделя, после чего растачивают остальную часть отверстия резцовой головкой, расположенной на оправке. Протачивание серповидных канавок в большом отверстии ведут с применением специального люнета с двумя отверстиями, межцентровое расстояние которых зависит от глубины канавок. Люнет устанавливают в большое отверстие и расклинивают.

Длительность цикла обработки сложных станин иногда составляет от 30 до 60 сут., поэтому его сокращение является актуальной задачей. Можно предложить следующие пути ее решения: обработка крупных станин одновременно на нескольких станках; обработка станин на поворотных столах большой грузоподъемности; применение специальных установочных стендов; организация специализированных участков по изготовлению станин; приме-

нение вместо универсальных агрегатных, специальных и специализированных станков, а также станков с ЧПУ; отработка конструкции детали на технологичность.

4.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

4.3.1. Построение операций обработки основных поверхностей прецизионных деталей

В условиях современного производства можно обеспечить размерную точность до 0,001 мм, отклонения формы до 0,005 мм, шероховатость поверхности $Ra = 0,04 \ldots 0,08$ мкм. Однако в течении долгого времени это удавалось получить только доводкой. Такое положение было вызвано тем, что существуют причины возникновения погрешностей при обработке высокоточных поверхностей деталей. Особенно ярко наследственные связи прослеживаются при обработке внутренних и наружных поверхностей вращения прецизионных деталей типа валов, гильз и т.п. Высокие требования по точности и шероховатости, предъявляемые к ответственным поверхностям прецизионных валов, предопределяют ряд особенностей технологии их изготовления. Это касается метода подготовки технологических баз для операции финишной обработки, метода выполнения финишной обработки подшипниковых шеек, характера упрочнения и стабилизации структуры материала валов, способа контроля размеров и взаимного расположения ответственных поверхностей валов.

Шейки валов в основном обрабатывают при базировании на неподвижных упорных центрах станка, которые обеспечивают наивысшие жесткость и точность обработки. При этом поверхности центрового отверстия и упорного центра можно рассматривать как подшипники скольжения, испытывающие нагрузку от радиальной составляющей силы резания при шлифовании. Для получения точ-

ных по форме подшипниковых шеек необходима тщательная подготовка упорных центров станка и центровых отверстий или опорных фасок вала.

Опорные поверхности упорных центров станка должны иметь точную форму по параметру отклонения от круглости и конусности. При вращении шпинделя на точных по форме упорных центрах точки контакта центровых отверстий с поверхностью упорных центров остаются неизменными, ось вращения и геометрическая ось вала также не меняют своих положений. Тем самым создается возможность получения высокой круглости шеек шпинделя. Если при изготовлении деталей обычной точности технологические базы рассматривают как геометрически правильные элементы, то в случае обработки высокоточных деталей такое допущение ошибочно. Влияние погрешности формы поверхностей центровых отверстий на отклонение формы обработанных поверхностей высокоточных деталей оказывается весьма значимым. Установлено, что центровые отверстия в поперечном сечении имеют несколько выступов (волн), так что при обработке вала в центрах эти неровности, контактируя с жестким центром, вызывают перемещение детали относительно режущего инструмента в радиальном и осевом направлениях. Погрешность технологических баз наследуется, т.е. переносится на обработанную поверхность детали. Полученное при этом отклонение формы зависит от числа волн на центровом отверстии, их высоты и усилия резания.

Для выполнения точных по форме центровых отверстий необходима их тщательная подготовка. Высокая точность формы центровых отверстий и базовых фасок вала возможна при их обработке на станках для шлифования центровых отверстий.

Применяют несколько типов станков для шлифования центровых отверстий, различающихся схемой обработки и схемой базирования.

К первому типу относят станки, у которых шлифовальный круг имеет форму конуса с углом 60°, вершина

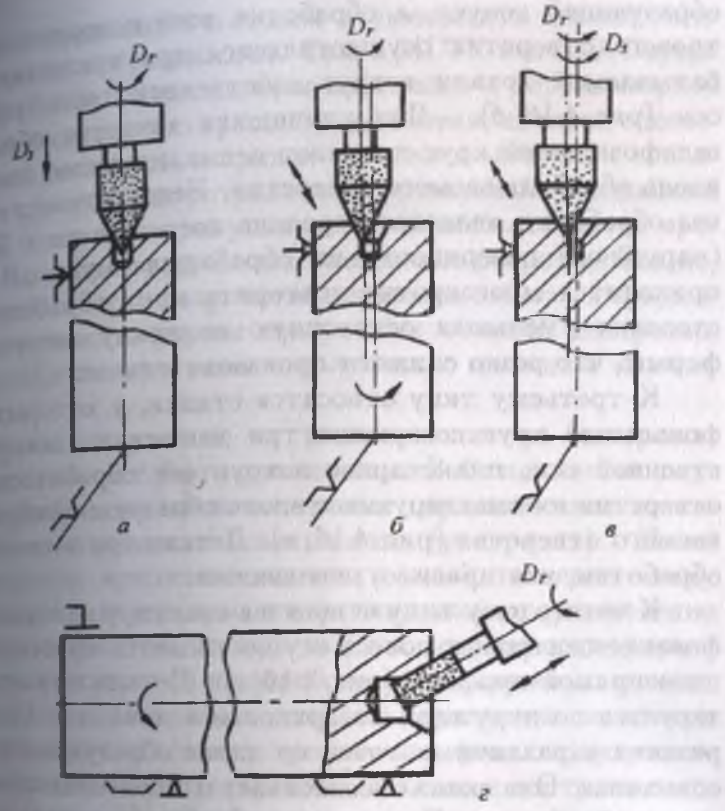


Рис. 4.16. Схемы обработки базовых поверхностей

инструмента при обработке центрового отверстия охватывает всю коническую поверхность, а обрабатываемая деталь при этом неподвижна (рис. 4.16, *а*). Существенным недостатком этой схемы обработки является отсутствие возможности свободного выхода шлама, что приводит к быстрому засаливанию шлифовального круга, перегреву заготовки, прижогам, снижению производительности. Эту схему обработки используют в основном перед операциями чистового точения и предварительного шлифования.

Ко второму типу относятся станки, у которых шлифовальный круг касается обрабатываемой поверхности по

образующей конуса, а обработка всей поверхности центрового отверстия осуществляется при вращении обрабатываемой детали вокруг собственной геометрической оси (рис. 4.16, *б*). Для улучшения качества обработки шлифовальный круг получает осциллирующее движение вдоль обрабатываемого отверстия. Недостатком этой схемы обработки является передача погрешности с базовой (наружной) поверхности на обрабатываемую. В итоге приходится многократно повторять цикл обработки, постепенно уменьшая остаточную величину погрешности формы, что резко снижает производительность.

К третьему типу относятся станки, у которых шлифовальный круг совершает три движения: вокруг собственной оси, планетарное вокруг оси обрабатываемого отверстия и осциллирующее вдоль образующей обрабатываемого отверстия (рис. 4.16, *в*). Деталь при этом способе обработки, как правило, неподвижна.

К четвертому типу относятся станки, у которых шлифование центровых поясов осуществляется кругом, имеющим прямой профиль (рис. 4.16, *г*). Деталь при этом базируется по наружной поверхности в призмах. Скорость резания у различных точек по длине образующего круга одинакова. Эта схема обеспечивает наиболее высокую точность обработки. Передача вращения на деталь осуществляется с помощью компенсирующих устройств (сильфона, муфты и др.), благодаря чему отсутствует передача погрешностей вращения привода на деталь. Профиль круга позволяет обрабатывать не только конические, но также плоские торцевые и цилиндрические поверхности.

В производственной практике используют призмы различных типов, отличающиеся формой, расположением и подвижностью опорных поверхностей. Выбор поверхности призмы, обеспечивающей наивысшую точность технологических операций, зависит от конкретных условий и обуславливается проведением тщательных исследований.

Актуальны также ТР, позволяющие использовать центровые отверстия обычной точности с отклонениями

формы в пределах 1...4 мкм и уменьшить наследственный перенос погрешностей. Так, в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан метод шлифования валов с неравномерной окружной скоростью вращения заготовки, которая обеспечивается введением в привод вращения заготовки специальных поводковых устройств. Специальный поводковый патрон позволяет принудительно изменять скорость вращения заготовки в пределах каждого ее оборота. Для использования этого устройства необходимо иметь информацию о точности формы поперечных сечений центровых отверстий, которую можно получить с помощью круглломеров.

Число выступов и их расположение на центровом отверстии может быть различным. В большинстве случаев проявляются низкочастотные гармонические составляющие некруглости (овальность, трехгранка). Изменяя скорость вращения заготовки соответственно числу выступов на центровом отверстии, можно существенно уменьшить наследственный перенос погрешности формы центровых отверстий на обработанную наружную поверхность вала. Окружная скорость вращения заготовки должна уменьшаться при проходе шлифовальным участком заготовки соответствующих впадинам центровых отверстий (рис. 4.17). Особо следует отметить тот факт, что приведенные выше технологические операции выполняют в термоконстантных помещениях.

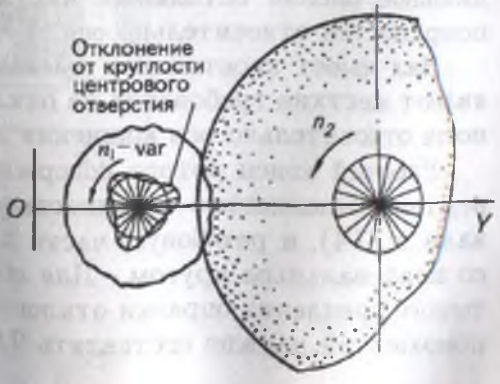


Рис. 4.17. Схема круглого шлифования

Предварительная аттестация центровых гнезд заготовки и настройка специального поводкового патрона ограничивают применение рассмотренного метода обработки в других производствах.

4.3.2. Изготовление прецизионных валов

Основные этапы и особенности изготовления прецизионных деталей рассмотрим на примере ТП изготовления вала высокооборотного электрошпинделя (рис. 4.18). Вал ступенчатый, на одном его конце имеется отверстие с резьбовым участком под оправку, а на другом – отверстие для подвода охлаждающей жидкости. На концах вала имеются центровые конические фаски, являющиеся технологическими базами для основных операций. Размеры фасок в основном унифицированы. Также унифицированы диаметральные размеры вала под подшипники. Посадочные поверхности подшипниковых шеек вала обработаны по 5-му квалитету точности с параметром шероховатости $Ra = 0,16$ мкм.

Повышенные требования предъявляют к точности геометрической формы указанных поверхностей, а также к точности взаимного расположения ответственных поверхностей (см. рис. 4.18). Торцевое биение буртика для упоров внутреннего кольца подшипников относительно оси вращения ротора должно быть не более 0,002 мм. Радиальное биение остальных наружных цилиндрических поверхностей относительно оси A – не более 0,01 мм.

Вал имеет хвостовик с лысками, к которым предъявляют жесткие требования на отклонение от симметричности относительно оси вращения A – не более 0,02 мм.

Рабочий конец ротора содержит цилиндрическое отверстие, выполненное с точностью $IT5$ (а у некоторых валов и $IT4$), и резьбовую часть для крепления оправки со шлифовальным кругом. Для обеспечения жесткого и точного крепления оправки отклонение от соосности этих поверхностей должно составлять 0,05 мм.

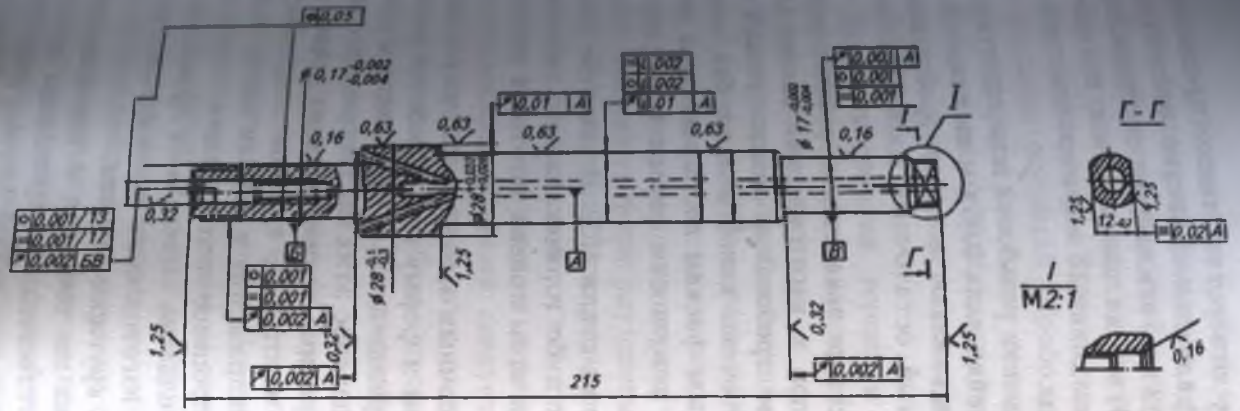


Рис. 4.18. Вал прецизионного электрошпинделя

К цилиндрическому отверстию также предъявляют высокие требования: радиальное биение относительно опорных шеек вала 0,002 мм, отклонение от прямолинейности образующих 0,001 мм на длине 13 мм, отклонение от круглости 0,001 мм на длине 13 мм, шероховатость поверхности $Ra = 0,32$ мкм.

Отклонение от соосности резьбовой поверхности и поверхности $Б$ опорной шейки вала 0,05 мм на длине 13 мм. Кроме того, к валу предъявляют высокие требования по дисбалансу – допустимый остаточный дисбаланс равен 28 г·мм.

Уникальные точностные показатели требуют особых технологических подходов к изготовлению такого вала. Обеспечить технические требования можно только при условии использования очень качественных баз, поэтому требования к базовым фаскам по параметрам шероховатости поверхности и точности формы также высоки ($Ra = 0,16$ мкм).

Вал изготавливают из стали 40Х. В качестве заготовок обычно используют либо горячекатаный, либо калиброванный прокат. При этом правка заготовок не допускается.

Применение более точных заготовок по допускаемым отклонениям на размеры и форму при обработке высокоточных валов связано прежде всего со стремлением уменьшить наследственный перенос этих погрешностей с заготовки на деталь. Недопустима также операция правки для уменьшения кривизны заготовки, так как возникающие при этом остаточные напряжения в детали могут привести к ее короблению в процессе эксплуатации.

Указанные обстоятельства определяют применение в качестве заготовки при изготовлении высокоточных валов калиброванного прутка круглого сечения.

Высокие требования по точности и шероховатости, предъявляемые к ответственным поверхностям прецизионных валов, предопределяют выбор метода подготовки технологических баз для операций финишной обработки.

характера упрочнения и стабилизации структуры материала, способа контроля размеров и взаимного расположения ответственных поверхностей роторов.

Кроме того, технологию изготовления высокоточных валов отличает также более тщательное выполнение других основных операций обработки. Так, для уменьшения погрешности взаимного расположения центровых отверстий подрезку торца и зацентровку заготовки осуществляют на фрезерно-центровальных полуавтоматах модели МР – 73.

Для фрезерования торцев и зацентровки заготовку устанавливают в призмы (рис. 4.19) с базированием в осевом направлении по упору.

Предварительное обтачивание вала выполняют на токарном станке с ЧПУ модели 16К20Т1 (рис. 4.20). Заготовку базируют в центрах с упором в торец.

Затем предусмотрена первая термообработка – улучшение. Твердость после улучшения составляет НВ 320 ... ...340. Последующие токарные и фрезерные операции не вызывают особых сложностей при использовании рациональных схем базирования и закрепления. По завершении указанных операций следует стабилизирующий отпуск для снятия остаточных напряжений. Нагрев валов при термической обработке проводят в подвешенном состоянии вертикально для уменьшения поводок. Рихтовка валов не допускается.

Перед шлифованием применяют дополнительную обработку центровых отверстий с целью обеспечения высокой точности их формы. Поэтому в ТП предусмотрена центродоводочная операция на центрошлифовальном станке модели 3922Р. Доводят центры последовательно за два установа при базировании на центр и трехопорный люнет. В дальнейшем эти операции неоднократно повторяют перед выполнением последующих операций шлифования.

Для повышения износостойкости вал подвергают цементации и закалке (глубина цементируемого слоя $h = 0,4 \ldots 0,6$ мм, твердость $HRC_э\,52 \ldots 55$) или азотируют

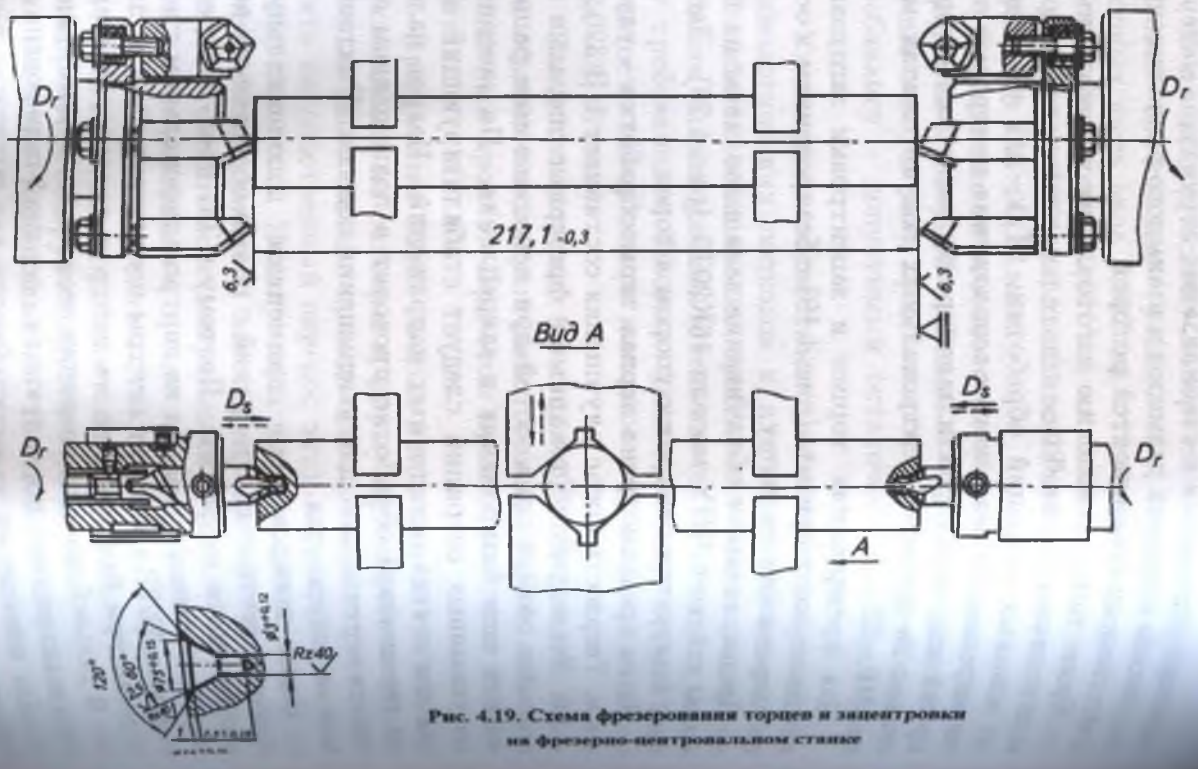


Рис. 4.19. Схема фрезерования торцев и зацентровки на фрезерно-центровальном станке

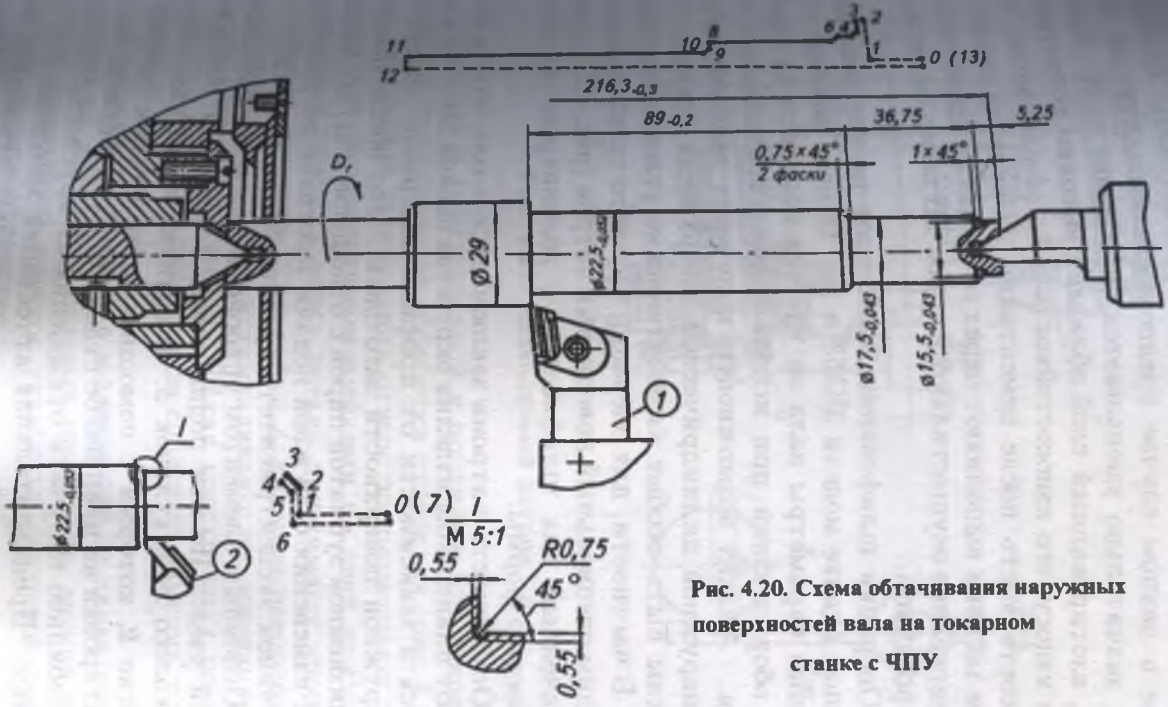


Рис. 4.20. Схема обтачивания наружных поверхностей вала на токарном станке с ЧПУ

($h = 0,35 \ldots 0,4$ мм, твердость HV 700 ... 900). Азотирование в данном случае предпочтительнее, так как при этом значительно уменьшается коробление вала. Кроме того, азотированный слой обладает высоким сопротивлением износу, его износостойкость в 2 ... 4 раза выше, чем износостойкость после цементации. Операции цементации и закалки выполняют перед операциями шлифования. Азотирование осуществляют в конце ТП перед финишным шлифованием.

Операции шлифования выполняют на круглошлифовальном станке модели 3Е153 и др. Однако высокие точностные параметры вала не удается получить на серийном оборудовании при использовании традиционых методов. Анализ возможности получения высокой точности наружной цилиндрической поверхности показал, что должны быть особые кинематические условия шлифования. В частности, для операции круглого шлифования необходим специальный поводковый патрон (рис. 4.21), предназначенный для шлифования с долемикрометрической точностью формы.

Особенность патрона заключается в том, что за один оборот планшайбы изделия окружная подача заготовки меняется в зависимости от профиля центрового отверстия и наружной поверхности заготовки. Это обеспечивается прецизионной зубчатой парой с отношением z_1/z_2. Амплитуда изменения окружной подачи заготовки регулируется величиной эксцентриситета кулачка 5 (см. рис. 4.21).

Основным элементом устройства является подшипниковый узел. На оси подшипника 4 крепится неподвижное колесо z_2 и кулачок 5. Подшипниковый узел собран в диске 2, который с помощью установочных пальцев 1 смонтирован на планшайбе станка 6. Устройство позволяет стабильно получать отклонения от круглости порядка 0,2 мкм. Предварительная аттестация заготовки 3 и последующая настройка станка позволяют применять рассматриваемую операцию только в условиях единичного производства.

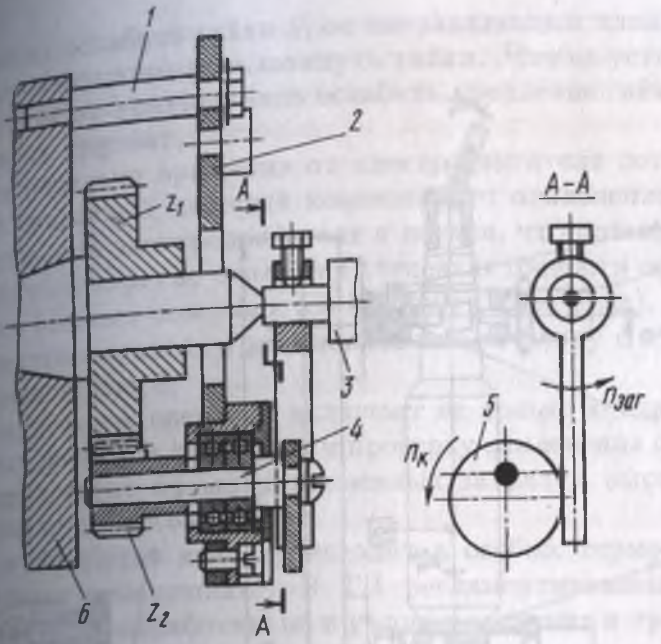


Рис. 4.21. Поводковый патрон

Еще одной ответственной и оригинальной операцией является окончательная обработка отверстия (рис. 4.22).

Деталь при шлифовании отверстия размещают предварительно шлифованными шейками на двух призмах *6* с упором в торец. Сверху деталь прижимают упором *7* с помощью пружины *12* и гайки *4*, которые расположены в прихвате *11*. Призму устанавливают на основание *5* и крепят к нему винтами *8*. Такая конструкция позволяет быстро переналадить приспособление, заменив только призмы.

Изменяя угол призмы в зависимости от характера отклонения от круглости базовых шеек вала, можно существенно уменьшить перенос указанных погрешностей на обрабатываемое отверстие.

Основание крепится к плите *13* с помощью болта *10* и гайки *9*. Чтобы изменить расстояние между призмами,

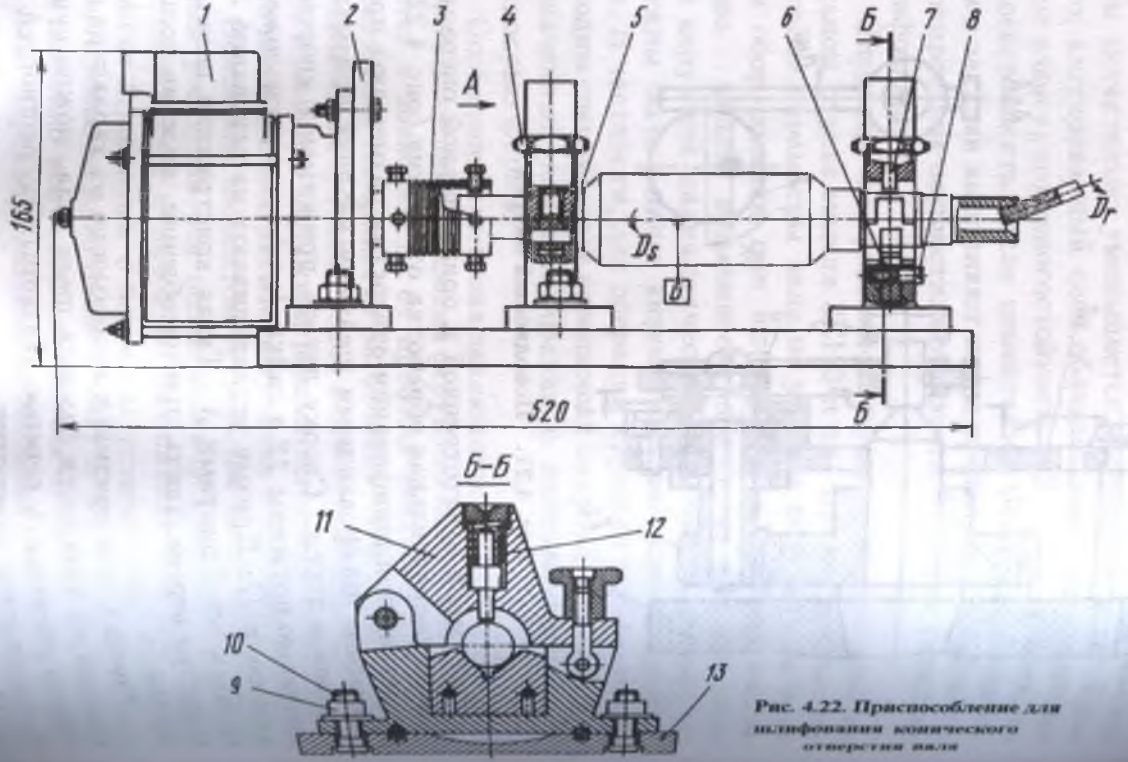


Рис. 4.22. Приспособление для шлифования конического отверстия вала

необходимо ослабить гайки *9*, по направляющим планкам переместить основание и затянуть гайки. Чтобы установить деталь на призмы, надо ослабить крепление гайки *4* и откинуть прихват.

Для передачи вращения от электродвигателя детали служит сильфон *3*, который компенсирует отклонение от соосности вала электродвигателя и детали, что позволяет обработать отверстие с высокой степенью точности относительно базовых поверхностей (опорных шеек вала).

Электродвигатель *1* устанавливают на плиту с помощью кронштейна *2*.

Контрольная операция включает не только контроль основных размеров детали, но и проверку отклонения формы, что требует больших временных затрат и высокой квалификации персонала.

Вся обработка вала происходит в особых термостатированных помещениях. В ТП регламентированы не только режимы обработки, но и условия хранения и транспортировки деталей от операции к операции.

Вопросы для самопроверки

1. Какое технологическое оборудование применяют при обработке корпусных деталей в условиях единичного производства?
2. Каковы основные схемы базирования при обработке высокоточных валов?
3. Назовите основные технические требования на изготовление корпусных деталей (прецизионных валов).
4. Каковы пути дальнейшего решения проблем технологии машиностроения применительно к единичному производству?
5. Назовите особенности метрологического обеспечения единичного производства.
6. Дайте характеристики методов получения литых заготовок.
7. Заготовки каких деталей получают методом ковки в тяжелом машиностроении?
8. Каковы особенности назначения припусков сварных заготовок для плоских и цилиндрических поверхностей?

9. Назовите область применения разметочных операций.
10. Назовите разметочные и контрольно-измерительные инструменты, используемые при плоскостной и пространственной разметке.
11. Каковы основные правила установки и закрепления заготовок типа валов, корпусов и плит?
12. Каковы основные приемы выверки заготовок типа валов, корпусов и плит?
13. Назовите основные обрабатываемые поверхности станин рабочих клетей прокатных станов закрытого типа и технические условия, предъявляемые к ним.
14. Напишите состав маршрута и нарисуйте эскизы некоторых операций механической обработки станин закрытого типа.
15. Опишите и дайте эскизы механической обработки поверхностей разъема станин на различных типах металлорежущих станков.
16. Как и на каких типах технологического оборудования обрабатывают направляющие проема станин?
17. Охарактеризуйте совместную и раздельную механическую обработку торцев лап и верха парных станин.

Глава 5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕРИЙНОГО И МАССОВОГО ТИПОВ ПРОИЗВОДСТВА

5.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕРИЙНОГО И МАССОВОГО ТИПОВ ПРОИЗВОДСТВА

Продукция массового производства – это однородные изделия стандартного типа, имеющие широкое применение и выпускаемые на широкий рынок сбыта. К такой продукции относятся автомобили, тракторы, велосипеды, электродвигатели, швейные машины, холодильники, стиральные машины, насосы для нефтедобычи и бытового назначения и др. На современном предприятии массового производства широко применяют автоматические линии (АЛ) механической обработки заготовок деталей. На отечественных АЛ изготовляют следующие типы деталей: валы, фланцы, корпусные детали, зубчатые колеса, крепежные детали, коленчатые и распределительные валы, детали подшипников, кронштейны и т.п. В Экспериментальном научно-исследовательском институте металлорежущих станков имеется автоматизированный банк данных, в котором содержится информация об АЛ, специаль-

ных станках и агрегатных станках (АС), спроектированных с 1981 г. ведущими отечественными конструкторскими бюро. Годовая производительность АЛ при двухсменной работе с коэффициентом технического использования 0,75 составляет от 40 тыс. деталей (изготовление балансиров) до 17 млн деталей (изготовление колец карданного подшипника). У современных АЛ, изготовляющих детали разных типов, длительность цикла (такт выпуска) составляет 10 ... 250 с. Такт выпуска деталей на линии существенно влияет на схему построения обработки, концентрацию или дифференциацию технологических переходов в одной позиции. В зависимости от такта выпуска в АЛ применяют одноместные или многоместные схемы установки заготовок в позициях, одноинструментальные или многоинструментальные наладки, параллельный или последовательный порядок обработки поверхностей. В свою очередь схемы построения обработки определяют компоновку позиций и технологическую схему проектируемой линии, число потоков, наборы многолезвийных стандартных и специальных режущих инструментов и другие конструктивно-технологические решения. В массовом автоматизированном производстве ТП изготовления детали служит в большинстве случаев основой для проектирования специального технологического оборудования (обработка заготовок, контроль, мойка и др.). Это обстоятельство отличает проектирование массового автоматизированного производства от серийного и единичного, для которых технологическое оборудование, как правило, выбирают по каталогу с учетом спроектированной операции.

АЛ из АС создают возможность для большой концентрации технологических переходов, что позволяет увеличивать производительность труда по сравнению с универсальными станками в десятки раз. Наиболее эффективно применение АЛ при изготовлении корпусных деталей: производительность возрастает по сравнению с использованием универсальных станков в 50 ... 100 раз, тогда как при изготовлении деталей других типов она повышается

только в 20...30 раз. Поэтому около половины АЛ предназначено для обработки заготовок корпусных деталей, изготовление которых включает сотни и даже тысячи технологических переходов.

На АЛ возможно получение некоторых труднодостижимых параметров точности обработки. Только на АЛ и АС при обработке блоков цилиндров двигателей отклонение от соосности отверстий под коренные опоры относительно крайних отверстий (на длине 600 мм) возможно в пределах 0...0,015 мм.

Габаритные размеры деталей, изготовляемых на АЛ и АС, колеблются от 100 мм (крышка коренного подшипника) до 2000 мм (задний мост тяжелого грузового автомобиля). К заготовкам, обрабатываемым на АЛ, предъявляют повышенные требования к стабильности размеров, припусков на обработку и твердости материала. Значительные колебания габаритных размеров заготовок не допустимы: заготовки с увеличенными размерами могут заклиниваться при транспортировании, а заготовки с уменьшенными размерами – перекашиваться. Большие колебания припусков приводят к тому, что при чрезмерных припусках режущий инструмент работает с перегрузкой, а при слишком малых припусках – по корке или обрабатывает поверхность не полностью. В обоих случаях снижается точность обработки и уменьшается стойкость инструментов. Колебания твердости материала заготовок при обработке с высокой точностью должны быть уменьшены по сравнению с действующими стандартами. Например, для получения отверстий точности $IT7$ в головках цилиндров из серого чугуна твердость не должна превышать НВ=2000 МПа, в то время как стандарт на этот материал допускает колебания в пределах НВ=1775...2501 МПа.

На долю серийного производства приходится до 80 % всей выпускаемой машиностроительной продукции, и эта доля имеет тенденцию к дальнейшему росту. В зависимости от объема партии и коэффициента закрепления операции $K_{з.о.}$ различают крупносерийное ($1 \leq K_{з.о.} \leq 10$),

серийное и среднесерийное ($10 \leq K_{з.о.} \leq 20$), а также мелкосерийное ($20 \leq K_{з.о.} \leq 40$) типы производства. Продукция и методы работы крупносерийного и массового типов производства близки между собой. Это прежде всего касается многономенклатурного автотракторного производства, выпуска боевых колесно-гусеничных машин, мелких и средних электродвигателей, бытовых изделий. В условиях серийного производства выпускают технологическое оборудование (станки, кузнечно-прессовые, литейные и сварочные машины, машины для легкой и пищевой промышленности), компрессоры, насосы. Продукцией мелкосерийного производства являются надпалубные механизмы кораблей (лебедки, краны и т.д.), транспортные газотурбинные двигатели, корабельные дизельные двигатели.

Основным направлением повышения производительности труда во всех видах серийного производства является его автоматизация на базе типизации и групповой технологии. Отличительной особенностью здесь является применение гибкой автоматизации путем использования как традиционных средств, так и станков с ЧПУ и гибких производственных систем (ГПС).

Отличительная особенность ГПС состоит в том, что переналадка оборудования на выпуск новой продукции осуществляется в автоматизированном (с ограниченным участием человека) режиме.

В крупносерийном производстве применяют АЛ с жесткой связью, которые помимо обычных АС оснащены АС с ЧПУ с автоматической сменой многошпиндельных или одношпиндельных коробок. На таких линиях можно изготавливать по типовой технологии одновременно или последовательно несколько типоразмеров картеров двигателей автомобилей.

В серийном и крупносерийном типах производства применяют поточные линии с групповой технологией. На таких линиях без переналадки или с частичной переналадкой обрабатывают несколько разнотипных заготовок деталей.

В серийном производстве широкое распространение получили предметно-замкнутые участки как с автоматическим, так и с универсальным оборудованием. На заводах, специализирующихся на выпуске авиационных двигателей, такие участки организуют для выпуска по типовой технологии лопаток газовых турбин и компрессоров.

Все шире применяют предметно-замкнутые участки на базе станков с ЧПУ в мелкосерийном производстве. Станки располагают здесь по ходу ТП. При этом предусматривают многостаночное обслуживание, централизованную наладку инструмента вне станка, его комплектование и хранение, наладку станочной обратимой оснастки.

Высшей формой автоматизации серийного производства является организация сквозного автоматизированного цикла "проектирование – изготовление продукции". В условиях полной автоматизации процессы управления, расчета и проектирования основаны на широком применении средств вычислительной техники, а процессы производства – на использовании интегрированного на базе ЭВМ гибкого оборудования с ЧПУ, работающего в условиях безлюдной или малолюдной технологии, в частности ГПС. По организационному признаку ГПС подразделяют на следующие виды:

гибкая автоматизированная линия (ГАЛ) – ГПС, в которой основное и транспортирующее оборудование расположено в принятой последовательности выполнения операций;

гибкий автоматизированный участок (ГАУ) – ГПС, функционирующая по технологическому маршруту, в которой предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования;

гибкий автоматизированный цех (ГАЦ) – ГПС, представляющая собой в различных сочетаниях совокупность ГАЛ, роботизированных технологических линий, роботизированных технологических участков для изготовления изделий заданной номенклатуры.

В отличие от ГАЛ в ГАУ можно изменять последовательность технологических операций. В результате этого достигается максимальная загрузка встроенного оборудования, а его гибкость позволяет изготавливать детали в виде сборочных комплектов. Внедрение ГПС – это новая концепция механосборочного производства, которая обеспечивает стирание границы между серийным и массовым типами производства.

5.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

5.2.1. Технологические возможности станков с ЧПУ и требования к конструкции изготавливаемых деталей

Технологические возможности станков с ЧПУ обусловлены их высокой гибкостью, повышенной жесткостью, мощностью и точностью, многоинструментальностью, широким диапазоном частот вращения шпинделя и подач, возможностью коррекции положения режущего инструмента и изменения величины подачи без изменения содержания программоносителя. На них существенно сокращается вспомогательное время вследствие высоких скоростей (до 10 ... 12 м/мин) холостых перемещений и минимизации до 4 ... 6 с вспомогательного времени на смену инструмента. Технологические возможности станков с ЧПУ обеспечиваются их конструкцией и функциональными возможностями устройств ЧПУ.

Станки с замкнутой системой управления, имеющие обратную связь по перемещению исполнительного органа, обеспечивают более высокую точность позиционирования в сравнении с разомкнутыми, у которых такая связь отсутствует.

По характеру программирования траектории перемещения станки бывают с позиционной или контурной системой управления. В станках с позиционной системой

управления программируются только координаты заданных точек, а перемещения из одной точки в другую обеспечиваются направляющими станка. Их применяют обычно на сверлильных и расточных станках. В контурных системах программируется вся траектория перемещения инструмента, что обеспечивает возможность обработки криволинейных контуров. Контурные системы управления применяют на токарных, фрезерных и сверлильно-фрезерно-расточных станках.

Токарные станки чаще выпускают с вертикально или наклонно расположенными направляющими станины. Это обеспечивает надежное удаление стружки либо в поддон, либо на транспортер. Наиболее распространены токарные станки с двумя или тремя координатами управления. В последнем случае кроме перемещения суппорта по двум координатам предусмотрено угловое позиционирование шпинделя. Это позволяет автоматизировать процесс установки и снятия несимметричной заготовки. Все современные станки имеют обратную связь между вращением шпинделя и перемещением суппорта для обработки винтовых поверхностей. На станках некоторых конструкций имеется возможность обработки винтовой поверхности с плавно изменяющимся шагом.

Для автоматической смены инструмента в подавляющем большинстве случаев используют револьверные головки, которые в сравнении с магазинными устройствами обеспечивают меньшие затраты времени на смену инструмента и экономически более целесообразны. Однако при размещении в головке длинных консольных инструментов возникают проблемы в связи с невозможностью их совместного размещения в зоне обработки. Поэтому в некоторых моделях токарных станков помимо револьверных головок предусматривают магазины инструментов. В других моделях возможность столкновения неработающего в данный момент инструмента с заготовкой и приспособлением исключается программно-математическим способом. При наладке станка данные по вылетам инструмента и

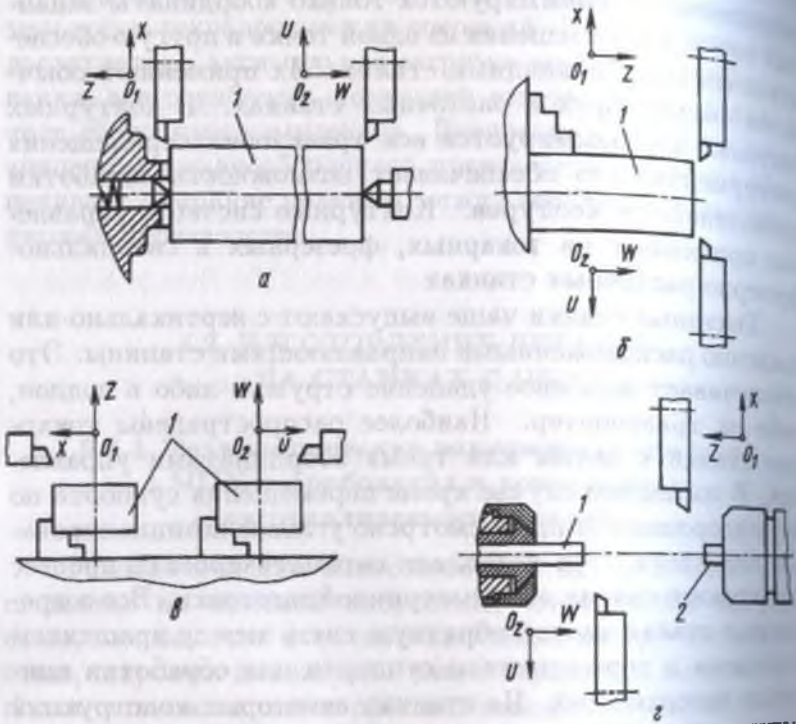


Рис. 5.1. Разновидности компоновок токарных станков с ЧПУ

его положению в револьверной головке вводят в память устройства, и при проверке управляющей программы, в случае возникновения аварийной ситуации, цикл обработки прерывается.

В серийном и крупносерийном типах производства используют двухсуппортные (рис. 5.1, *а, б*) и многошпиндельные (рис. 5.1, *в, г*) станки. Независимое управление суппортами обеспечивает возможность последовательной и параллельной многосторонней (см. рис 5.1, *а, б, г*) или односторонней (см. рис. 5.1, *в*) обработки.

В указанных компоновках заготовки *1* обрабатываются в центрах (см. рис. 5.1, *а*), в патроне (см. рис. 5.1, *б, в*), при установке прутка в цанге (см. рис. 5.1, *г*). В последнем случае заготовка *1*, обработанная в левом шпинделе,

захватывается правым шпинделем и вытаскивается из левой цанги на необходимую длину. После отрезки осуществляется обработка левой стороны *2* заготовки. В такой компоновке число управляемых координат может достигать семи или восьми. Помимо независимых перемещений суппортов по двум координатам и углового позиционирования шпинделей предусматривается управление их осевым перемещением.

Имеются конструкции станков с компоновками, представленными на рис. 5.1, *б, г*, у которых в отдельных позициях револьверной головки предусмотрена возможность использования вращающихся инструментов (сверл, зенкеров, разверток, метчиков, пальцевых фрез). На таких станках помимо токарных переходов можно выполнять обработку радиальных и внеосевых торцевых отверстий, шпоночных пазов, лысок и других поверхностей.

Фрезерные станки с ЧПУ обычно имеют три управляемые координаты, вертикальную и реже горизонтальную или комбинированную компоновки.

В отдельных моделях кроме линейно-круговой предусматривается винтовая интерполяция. Это обеспечивает возможность помимо формообразования криволинейных плоских и объемных поверхностей обрабатывать винтовые. На таких станках можно фрезеровать наружные или внутренние резьбовые поверхности, вырезать отверстия в плитах без предварительного сверления отверстия для ввода концевой фрезы и обрабатывать методом обкатывания объемные криволинейные поверхности (например, рабочую часть лопаток газовых турбин). Режущие инструменты чаще всего размещают либо в револьверных головках, либо в магазинах, что обеспечивает автоматическую смену их при выполнении операции. Помимо фрез в инструментальную наладку могут входить мерные инструменты и расточные оправки для обработки гладких или резьбовых отверстий.

Сверлильно-фрезерно-расточные станки в основном выпускают горизонтальной компоновки с четырьмя ко-

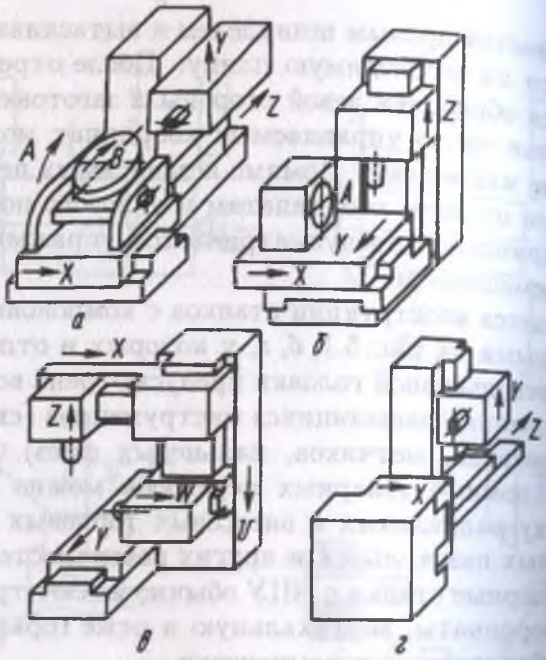


Рис. 5.2. Разновидности компоновок сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ

ординатами управления (три координатных перемещения и вращение стола вокруг оси $OУ$). Они имеют специальную конструкцию станка, когда дополнительно нужно обеспечить программируемое вращение вокруг оси OX (рис. 5.2, *а*). Реже применяют станки вертикальной компоновки с программированием трех линейних перемещений. Некоторые модели оснащают поворотными столами, что дополнительно обеспечивает программируемое вращение вокруг одной из осей: либо OX (рис. 5.2, *б*), либо $OУ$. В серийном производстве используют двухшпиндельные станки с вертикальным и горизонтальным шпинделями (рис. 5.2, *в*), что обеспечивает как последовательную, так и параллельную многостороннюю обработку. В последнее время стали выпускать станки с вертикальным расположением стола, обеспечивающим надежное стружкоудаление (рис. 5.2, *г*).

У некоторых моделей станков шпиндельная бабка в процессе выполнения операции может изменять угловое положение от вертикального до горизонтального. В сочетании с поворотным столом это позволяет обработать все поверхности, кроме базовой. Из этих же соображений четырехкоординатные станки оснащают угловыми насадками, которые обеспечивают изменение направления оси вращения инструмента относительно оси вращения шпинделя. Отдельные станки имеют опрокидывающие столы со сквозными окнами, которые позволяют выполнить обработку со стороны базовой поверхности заготовки.

Сверлильно-фрезерно-расточные станки оснащают инструментальными магазинами, располагающими от 20 до 120 и более инструментами, которые автоматически могут заменяться в процессе выполнения операции. Существенно расширяет технологические возможности станков использование плансуппортных головок, расположенных в инструментальном магазине. Специальный механизм, смонтированный в шпиндельной бабке, обеспечивает радиальное перемещение каретки с резцом по программе.

В серийном производстве для сокращения основного времени обработки стремятся совместить выполнение переходов во времени. Для этого применяют комбинированные инструменты или многошпиндельные головки, у которых предусмотрена возможность изменения межцентровых расстояний вручную. Последние также располагаются в инструментальном магазине.

Одним из основных направлений развития гибкой автоматизации является создание на базе сверлильно-фрезерно-расточных станков гибких производственных модулей (ГПМ), работающих в "безлюдном" или "малолюдном" режиме. Понятие "безлюдного" или "малолюдного" режима не означает, что человек не участвует в эксплуатации оборудования; этим подчеркивается возможность достаточно длительного функционирования оборудования в автоматическом режиме. Для ГПМ принято, что все наладочные работы, техническое обслуживание

и подготовка производства выполняются в первую сме-
ну с участием человека, а обработка во вторую и третью
смены происходит в автоматическом режиме с минималь-
ным участием человека. Конструкция станка, эксплуа-
тируемого без участия человека, имеет свои специфиче-
ские особенности. Он должен быть оснащен транспортно-
накопительной системой (магазин заготовок), устройством
для автоматической смены заготовок, системами диагно-
стики технического состояния узлов, механизмов и ин-
струментов и управления качеством обработки. В целом
станок получается дорогостоящим. Поэтому его простои
должны быть сведены до минимума путем подбора раци-
ональной номенклатуры деталей, своевременного и каче-
ственного технического обслуживания.

Решающее влияние на технологические возможности
станков с ЧПУ оказывают их конструкция и математи-
ческое обеспечение устройства ЧПУ. С момента появле-
ния в конце 50-х годов устройства ЧПУ прошли несколь-
ко этапов развития. Первые устройства типа *NC* (*Numerical Control*) в результате их эволюционного разви-
тия позволили достичь достаточно широких технологиче-
ских возможностей: линейно-круговая интерполяция, кор-
рекция положения инструментов, выдача на станок необ-
ходимого числа технологических команд и др. Размеры
и стоимость их резко снизились, а надежность возросла.
Однако они имели существенные недостатки, в частности,
не позволяли хранить и редактировать управляющие про-
граммы непосредственно на рабочем месте.

Появившиеся затем системы типа *SNC* (*Stary Numerical Control*) – устройства с расширенной памятью на
входе для хранения и редакции управляющих программ –
явились результатом доработки систем типа *NC*. Основ-
ные недостатки систем *NC* и *SNC* заключались в том,
что они не позволяли изменить и расширить первоначаль-
но заложенные в них функциональные возможности, так
как это требовало изменения электрической схемы самого
устройства.

Современные устройства ЧПУ, так называемые системы типа *CNC* (*Computerized Numerical Control*) построены на базе микропроцессоров. Системы *CNC* резко расширили функциональные возможности программного управления: они обеспечивают хранение и редактирование программы непосредственно на рабочем месте, имеют развитые системы диагностики и управления качеством обрабатываемых поверхностей с использованием активного контроля, расширенные возможности индикации информации на дисплее, диалоговое общение с оператором, перепрограммирование первоначально заложенных функциональных возможностей устройства при его эксплуатации.

Разновидностью *CNC* являются оперативные системы типа *HNC* (*Hand Numerical Control*), в которых в отличие от обычных систем *CNC* отсутствует программоноситель. Программа у них вводится с помощью клавиши панели управления и хранится в памяти системы. Эта система специализирована по функциональному и технологическому назначению и обеспечивает: ввод управляющей программы (УП) с пульта управления (программирование), ее автоматическую отработку, редактирование и хранение, ввод различных коррекций. У некоторых устройств ЧПУ типа *HNC* предусмотрена возможность записи УП по результатам обработки первой детали в ручном режиме. Особенностью задания программы в системе *HNC* является то, что ввод ее осуществляется не только на стандартном языке в коде *ISO* или *EIA*, но и с помощью задания геометрических элементов контура поверхностей. В сравнении с обычными системами *CNC* оперативные системы *HNC* имеют ряд преимуществ. С их появлением достигнут компромисс между стоимостью оборудования с ЧПУ и универсального оборудования; повысилась роль оператора (решение проблемы высококвалифицированной рабочей силы); процесс программирования упростился до уровня, не требующего предварительной подготовки УП инженером. Системы *HNC* позволяют организовать многостаночное обслуживание, эффективно авто-

матизировать процесс выполнения простейших операций при размерах партии заготовок менее 10 шт. Однако имеются и недостатки, связанные с большими затратами времени на ввод и редактирование больших по объему УП, а также с необходимостью повторного ввода программы (из-за ограниченного объема памяти для их хранения), когда между изготовлением разных партий одной и той же детали изготавливают другие детали. Поэтому оперативные системы применяют в основном только для токарных и фрезерных станков. Для сверлильно-фрезерно-расточных станков используют системы *CNC* с предварительной записью программы.

Отечественная промышленность оснащает станки устройствами ЧПУ типа *CNC* моделей 2931-61, 2985, "Размер-4", "Размер-5", Н55-1, Н55-2 и оперативными устройствами "Электроника НЦ-31", "Электроника НЦ-80-01", 2Р-22, 2Р-32, 2С-42. В последних имеется возможность ввода информации с перфоленты.

В настоящее время ведутся разработки по созданию диалоговых систем управления, в которых для внесения команд применяется голосовой способ, – системы типа *VNC* (*Voice Numerical Control*). К преимуществам управления оборудованием с ЧПУ от голосовых команд относится универсальность и гибкость речи, которая является самым естественным для человека средством передачи информации; большая скорость передачи информации в сравнении с кнопочными пультами и кнопочными панелями; возможность дистанционного управления через телефонную сеть; выполнение одним человеком нескольких различных функций одновременно; сокращение сроков обучения управлением системой.

Технологические возможности станков с ЧПУ обеспечивают менее жесткие ограничения по конструктивным формам деталей в сравнении с обработкой на станках других типов.

Для токарных станков с ЧПУ вполне технологичными являются сочетания цилиндрических, конических и криво-

линейных поверхностей. Здесь допустимы разные радиусы галтелей, ширина канавок и винтовые поверхности с переменным шагом. Для резьбовых поверхностей не требуются канавки для выхода резца.

Для обработки на фрезерных и сверлильно-фрезерно-расточных станках с контурной системой управления допустимы сочетания криволинейных, плоских и объемных поверхностей с поверхностями простой формы. Здесь возможна обработка канавок и резьбовых поверхностей в отверстиях корпусных деталей методами расфрезерования или планетарного растачивания.

При анализе технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, необходимо учитывать требования надежного удаления стружки, максимального упрощения программирования, обеспечения благоприятных условий работы режущего инструмента, надежного закрепления заготовки, обеспечивающего возможность обработки максимального числа ее поверхностей и одновременно высокую жесткость системы заготовка – приспособление. При автоматической загрузке заготовок дополнительно следует учитывать возможность их ориентирования и захвата загрузочным устройством.

Конструкция заготовки детали должна быть такой, чтобы для обработки требовалось минимальное количество инструментов. Этому способствует рациональное оформление канавок (рис. 5.3, *а*) и широкая унификация

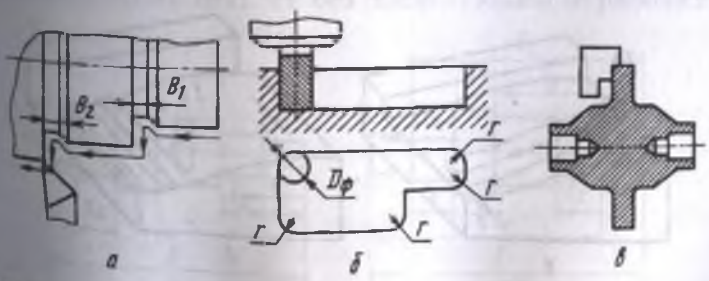


Рис. 5.3. **Технологичные для станков с ЧПУ конструкции деталей**

размеров основных и крепежных отверстий. Для уменьшения объема работ по подготовке УП следует радиусы r закруглений внутренних контуров выполнять одинаковыми и согласованными с диаметром фрезы $r \geq D_ф/2$ (рис. 5.3, *б*). Технологичной является симметричная форма деталей, когда по одной программе заготовка может быть обработана с двух сторон (рис. 5.3, *в*).

Криволинейные поверхности целесообразно профилировать участками прямых линий и дуг окружностей, что облегчает подготовку программы, так как станки обычно имеют линейно-круговые интерполяторы. На рис. 5.4 показаны два варианта конструкции плоской криволинейной поверхности. В первом случае (см. рис. 5.4, *а*) направление строк обхода контура возможно только вдоль оси OX, а во втором (см. рис. 5.4, *б*), – как вдоль оси OX, так и вдоль оси $OУ$. Учитывая, что объем расчетов по определению координат опорных точек значительно меньше при движении по координате $У$, чем по координате X, второй вариант более технологичен.

Радиусы фрезерования в карманах (см. рис. 5.3, *б*), окнах, занижениях следует, по возможности, увеличивать, что повышает жесткость инструмента. Из этих же соображений в корпусных деталях, имеющих соосные отверстия в двух стенках, следует проектировать конструкцию так, чтобы при растачивании отношение длины l к диаметру d было не более 5 . . . 6.

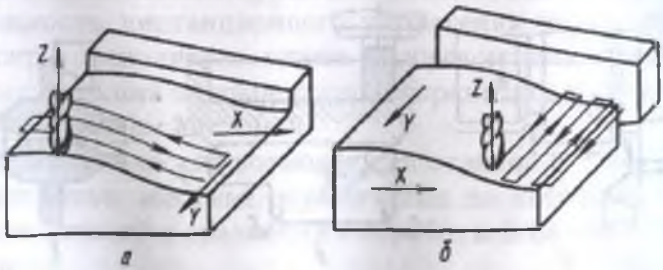


Рис. 5.4. Цельная (*а*) и составная (*б*) конструкции деталей

При многопереходной обработке целесообразно вместо глухих отверстий и карманов предусматривать сквозные отверстия и окна, что способствует лучшему стружкоудалению. Конструкция должна способствовать исключению или максимальному уменьшению последующей после обработки на станках с ЧПУ станочной или ручной доработки. Для этого нецелесообразно предусматривать резьбовые отверстия менее М6. Точность цилиндрических наружных поверхностей должна быть не выше $IT6$, а внутренних – $IT7$, шероховатость – не ниже $Ra = 0,8$ мкм.

Особое внимание уделяется простановке размеров на чертеже детали. Координаты осей отверстий следует проставлять в декартовых, а не в полярных координатах. В противном случае их приходится пересчитывать при подготовке УП. В общем случае размеры проставляют от принятых технологических баз. Простановка осевых размеров, технологичная для случая обработки на универсальном токарном станке (рис. 5.5, *а*), недопустима при обработке на станке с ЧПУ. В последнем случае при выдерживании размеров l_1 и l_5 (см. рис. 5.5, *а*) возникает погрешность базирования, равная допуску размера L, который обычно превышает допуски этих размеров. Для станка с ЧПУ следует проставлять осевые размеры так, как это показано на рис. 5.5, *б*.

Важно, чтобы конструкторы хорошо знали технологические возможности станков с ЧПУ. Это позволит создавать конструкции деталей без последующей отработки их

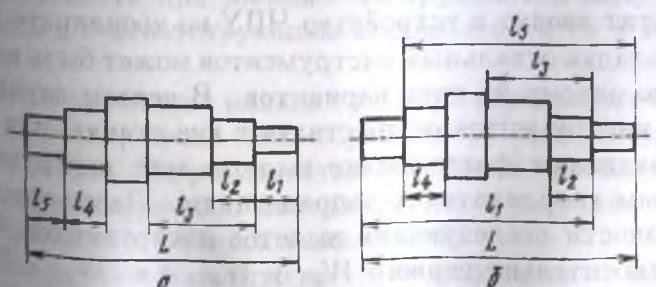


Рис. 5.5. Варианты простановки осевых размеров на валах

на технологичность и сократит время на подготовку производства.

5.2.2. Наладка станков с ЧПУ

Размерная наладка обеспечивает требуемое положение системы координат инструмента (СКИ) относительно систем координат детали (СКД). Многоинструментальная обработка, реализуемая на станках с ЧПУ, имеет определенную специфику выполнения. Для осуществления размерной наладки и подналадки технологической системы все современные станки с ЧПУ имеют возможность ввода автоматической коррекции положения инструментов и сдвига исходного положения СКИ перед началом обработки.

Наладка резцов токарных станков на выполнение диаметральных наружных, внутренних и осевых размеров выполняется по пробному протачиванию в следующей последовательности. Первоначально ведется протачивание цилиндрической поверхности резцом, которым обрабатывается наиболее точная поверхность. Не изменяя радиального положения инструмента, измеряют полученный размер и результат вводят в устройство ЧПУ по координате x. Далее выполняют подрезание торца, измеряют осевой размер либо до торцевой технологической базы (штучная заготовка), либо до торца патрона (заготовка – пруток) и результат вводят в устройство ЧПУ по координате z.

Наладка остальных инструментов может быть выполнена по одному из двух вариантов. В первом случае наладку инструментов осуществляют вне станка, при этом устанавливают фактические вылеты всех инструментов по обоим координатным направлениям. Далее определяют разности последующих вылетов инструментов W_{xi} и W_{zi} относительно первого W_{x1} и W_{z1}, т.е. $W_{xi} - W_{x1}$ и $W_{zi} - W_{z1}$, которые вводят в корректор соответствующего инструмента, причем разность следует вводить с тем

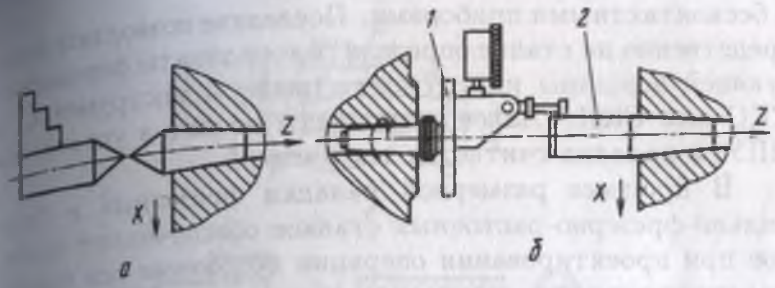


Рис. 5.6. **Способы совмещения осей мерных осевых инструментов с осью шпинделя токарного станка**

знаком, который получен при вычитании. Во втором случае наладку резцов осуществляют по результатам пробной обработки поверхностей каждым инструментом. При этом разность между положением суппорта, которое высвечивается на панели устройства ЧПУ, и размером, полученным при пробном точении, заносится в корректор инструмента по соответствующей координате вместе с ее знаком.

При наладке сверл, зенкеров и разверток требуется совместить ось инструмента с осью вращения шпинделя. Для этой цели применяют либо центры (рис. 5.6, *а*), либо центроискатель *1* и контрольную оправку *2* (рис. 5.6, *б*). Соосность обеспечивается совмещением вершин конусов либо обкатыванием центроискателем контрольной оправки. Из значения координаты x_i, высвечиваемой на панели устройства ЧПУ, вычитается значение координаты x_1 первого вылета при наладке инструмента и полученная разность с соответствующим знаком заносится в корректор.

После окончания наладки суппорт перемещается в исходную точку, после чего обрабатывается и измеряется первая деталь. По результатам измерения проводят окончательную коррекцию положения инструментов. После этого наладка считается законченной.

Для уменьшения трудоемкости выполнения и повышения точности размерной наладки некоторые модели современных токарных станков с ЧПУ оснащают контактными

и бесконтактными приборами. Последние позволяют непосредственно на станке определить координаты формообразующей вершины инструмента (вылеты инструмента) в СКС или СКД. Далее координаты вводят в устройство ЧПУ, и наладка считается законченной.

В процессе размерной наладки фрезерных и сверлильно-фрезерно-расточных станков обеспечивают заданное при проектировании операции положение оси вращения шпинделя относительно установочных элементов приспособления, а также радиальные (для расточных оправок) и осевые вылеты инструментов, устанавливают коррекции радиусов фрез. В приспособлениях, имеющих установочные элементы в виде пальцев, буртиков и втулок, оси которых параллельны оси OZ, положение оси шпинделя выверяют по их базовым цилиндрическим поверхностям индикаторным центроискателем. Такие элементы часто предусматривают специально для выверки. Положение этих элементов необходимо обеспечить с высокой точностью относительно боковых установочных элементов. При установке заготовок в патроне или призме для выверки положения оси шпинделя в них закрепляют цилиндрические контрольные оправки. В последних двух случаях иногда имеется возможность выполнить выверку положения оси шпинделя непосредственно по ранее обработанным цилиндрическим наружной или внутренней поверхностям заготовки.

Варианты наладки положения оси шпинделя относительно плоских установочных элементов или базовых поверхностей заготовки по осям OX и OY представлены на рис. 5.7. В первых двух случаях шпиндель устанавливают относительно установочного элемента приспособления на известном расстоянии. При наладке по оправке (см. рис. 5.7, *а*) это расстояние одинаково по обоим координатным направлениям и равно $A = D_{\text{опр}}/2 + h$, где $D_{\text{опр}}$ – диаметр оправки; h – толщина щупа. Во втором случае (см. рис. 5.7, *б*) эти расстояния равны координатам A и B оси отверстия эталона. При использовании оптического

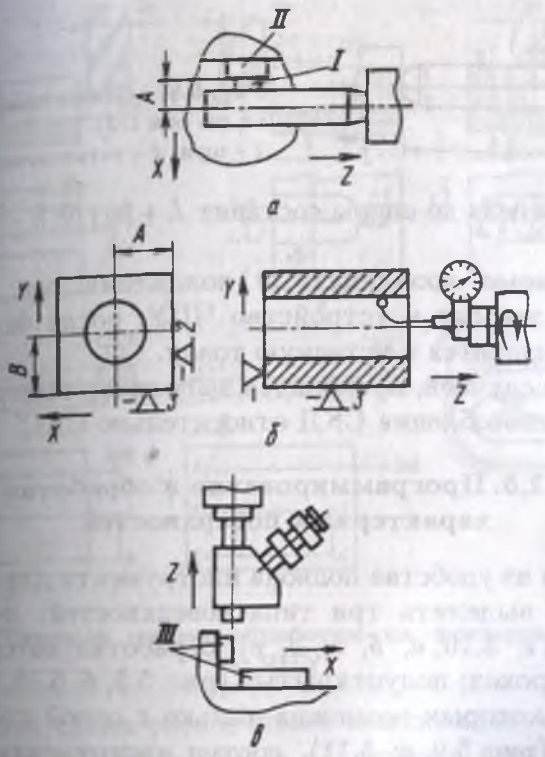


Рис. 5.7. Схемы наладки положения оси шпинделя по осям OX и OY относительно плоских установочных элементов:

а – с помощью щупа и жесткой оправки; *б* – с использованием специального универсального эталона; *в* – с помощью оптического устройства; *I* – щуп; *II, III* – установочные элементы

устройства наладка обеспечивает положение оси шпинделя непосредственно в плоскости установочного элемента (см. рис. 5.7, в).

Для наладки по оси OZ можно использовать как жесткую оправку со щупом (рис. 5.8), так и индикаторную. Перед установкой контрольной оправки в шпиндель на приборе наладки инструментов вне станка определяется ее фактический вылет L (см. рис. 5.8). Тогда расстояние от

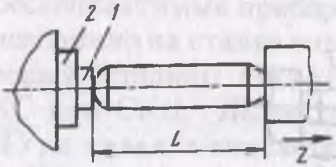


Рис. 5.8. Схема наладки станка по оси OZ:
1 – щуп; *2* – установочный элемент

торца шпинделя до опоры составит $L+h$, где h – толщина щупа.

Найденные координатные положения оси и торца шпинделя заносят в устройство ЧПУ, после чего шпиндель перемещается в исходную точку.

В ряде случаев, приходится выполнять выверку положения приспособления СКД относительно СКС.

5.2.3. Программирование и обработка характерных поверхностей

Исходя из удобства подвода инструмента для обработки, можно выделить три типа поверхностей: открытые (рис. 5.9, *а, г*; 5.10, *а, б, г, д, е*), обработка которых возможна напроход; полуоткрытые (рис. 5.9, *б*; 5.10, *ж, з, и*), обработка которых возможна только с одной стороны, и закрытые (рис. 5.9, *в*; 5.11), доступ инструмента к которым закрыт со всех сторон, и для их обработки требуется предварительное врезание инструмента.

В типовых циклах обработки поверхностей применяются три схемы траектории движения инструментов: "петля", "зигзаг" и "спуск". При схеме "петля" (см. рис. 5.9, *б*; 5.10) осуществляется рабочий ход инструмента, отвод его от обрабатываемой поверхности на 0,5 мм и выход к выполнению следующего рабочего хода. Эта схема применяется в основном для открытых и полуоткрытых поверхностей. Схема "спуск" (см. рис. 5.9, *а, г*; 5.11, *а*) предусматривает рабочий ход инструмента из точки начала обработки (ТНО), выход его на холостом ходу и перемещение в новую точку выполнения следующего хода. При схеме "зигзаг" (см. рис. 5.9, *в, д*; 5.11, *в*) траектория движения инструмента не имеет холостых перемещений,

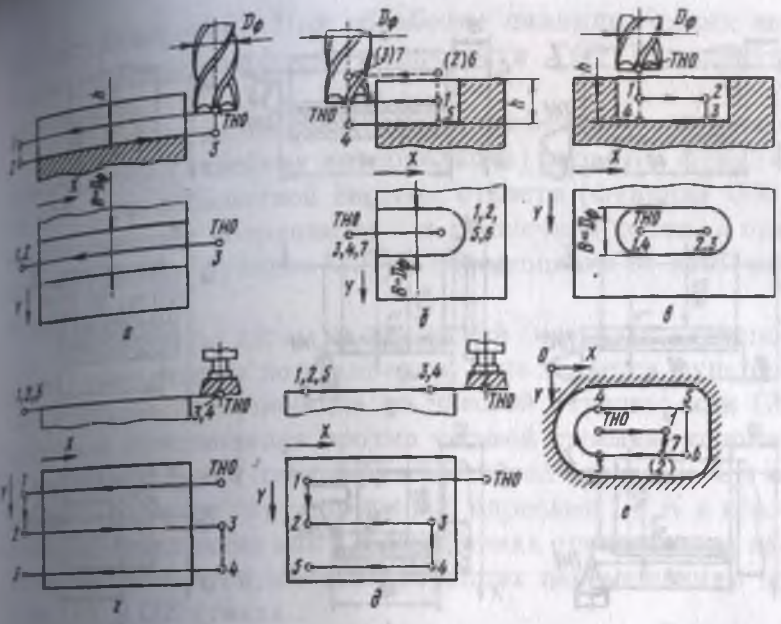


Рис. 5.9. Типовые циклы обработки на фрезерных станках с ЧПУ

поэтому эта схема обеспечивает максимальную производительность. Однако для ее реализации в ряде случаев приходится выполнять специальную заточку инструмента. Для обработки широкой канавки (см. рис. 5.11, *в*) фреза должна иметь три режущих кромки. В типовых циклах используют также комбинации приведенных выше схем. При обработке широких канавок на токарных станках с ЧПУ применяют комбинацию обработки по схеме "спуск" прорезным резцом и по схеме "петля"– проходным резцом (рис. 5.11, *б*). Если в канавке отсутствует напуск, применяют обработку левым и правым проходным резцом (см. рис. 5.11, *г*).

При фрезеровании глубоких выемок ("колодцев") (см. рис. 5.9, *е*) металл удаляется за несколько рабочих ходов по оси OZ. Траектория в плоскости XOY обычно является эквидистантой контура колодца. Для исключения врезания фрезы по оси OZ в ТНО предварительно

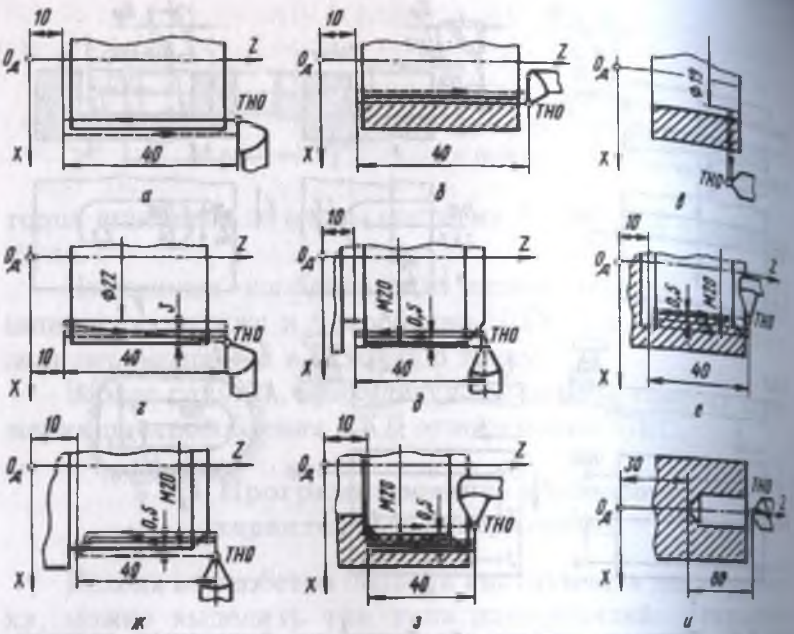


Рис. 5.10. Постоянные циклы (автоциклы) обработки на токарных станках с ЧПУ

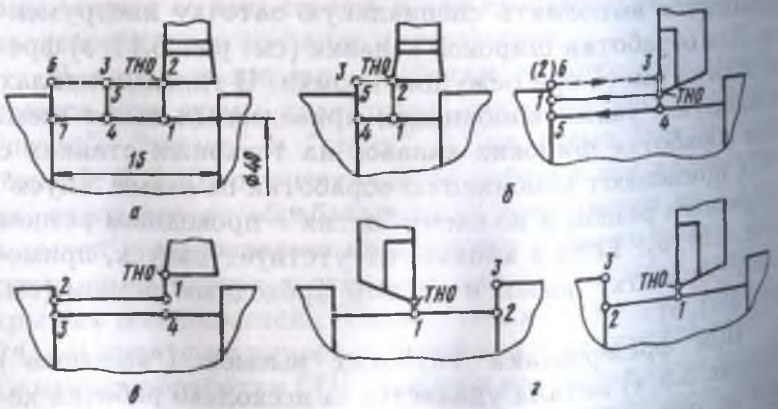


Рис. 5.11. Типовые циклы обработки широких канавок на токарных станках с ЧПУ

сверлят отверстие. При обработке цилиндрических колодцев траекторию фрезы в плоскости XOY выполняют по спирали.

Обработка цилиндрических, конических и торцевых поверхностей (линейная интерполяция) задается функцией G1. При абсолютной системе отсчета (функция G90) программируют координаты x и z конечной точки, а при относительной (функция G91) – перемещения по этим направлениям.

Обработка по дугам окружностей (круговая интерполяция) выполняется по квадратам. Она задается функций G2 (круговая интерполяция по часовой стрелке) или G3 (круговая интерполяция против часовой стрелки) координат конечной точки дуги окружности под адресами X и Z, координат центра окружности под адресами I и K в абсолютных координатах или в приращениях относительно начальной точки дуги, соответствующих перемещениям по осям OX и OZ станка.

Рассмотрим примеры программирования обработки по дугам окружности. Так, для схемы приведенной на рис. 5.12, *а*, кадр УП можно записать в виде

N10 G90 G2 X50000 Z50000 I 20000 K50000 F100 ПС

или

N10 G91 G2 X20000 Z–28300 I–10000 K–28300 F100 ПС.

Для схемы, представленной на рис. 5.12, *б*, имеем

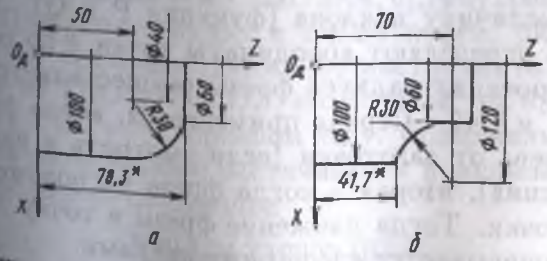


Рис. 5.12. Схемы обработки по дуге окружности

N10 G90 G3 X50000 Z41700 I 60000 K70000 F100 ПС

или

N10 G91 G3 X–20000 Z–28300 I 30000 K0 F100 ПС.

Здесь G90 и G91 соответственно функции задания абсолютной или относительной систем отсчета, F100 – подача, равная 100 мм/мин.

Для многоходовой обработки конических и цилиндрических поверхностей и их сочетаний целесообразно предусматривать подпрограммы, которые периодически вызываются основной УП.

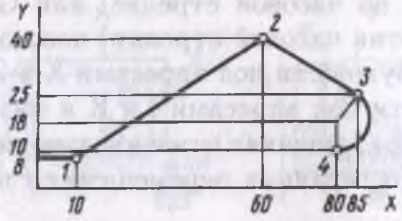


Рис. 5.13. Схема обработки контура на фрезерном станке с ЧПУ

На фрезерных станках наиболее часто встречается обработка сочетаний линейных и круговых участков плоских контуров. Рассмотрим обработку такого контура (рис. 5.13) на станке модели КФП-250 с устройством ЧПУ 2С42. Первоначально фреза на рабочей подаче (функция G01) перемещается в точку *1*. Так как она подходит к наклонной поверхности, необходимо предусмотреть линейную интерполяцию с удлиненным перемещением (функция G11) и величину наклона (функции P и Q). Последние функции определяют координаты точки *2* по осям OX и OY. Коррекция радиуса фрезы осуществляется функциями G41 и G42. Первая применяется, когда фреза находится слева от заготовки (если смотреть в направлении ее движения), вторая – когда фреза расположена справа от заготовки. Тогда движение фрезы в точку *1* и далее в точку *2* описывается следущими кадрами:

N25 G01 G11 G41 X10000 Y8000 P60000 Q40000 F180 ПС

N26 X60000 Y40000 ПС.

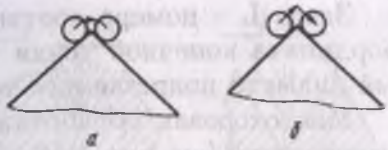


Рис. 5.14. Варианты траектории фрезы при обработке излома контура

При изломе контура (точка *2*) применяются функции G10 и G14. Первая отвечает за обкат излома (рис. 5.14, *а*), а вторая – за его формообразование путем дополнительных перемещений (рис. 5.14, *б*). С учетом этого перемещение в точку *3* описывается кадром

N27 G10 X85000 Y25000 ПС.

Круговая интерполяция обеспечивается приведенными ранее функциями G2 и G3. При круговой интерполяции программируются координаты X и У конечной точки дуги и координаты I и Q ее центра. Соответствующий кадр программы имеет вид

N28 G02 X80000 Y10000 I 80000 Q18000 ПС.

Программное обеспечение современных устройств ЧПУ базируется на использовании типовой обработки отдельных поверхностей и их сочетаний и представлено в виде постоянных циклов (автоциклов). В применяемых при токарной обработке отечественных устройствах ЧПУ предусмотрены автоциклы обработки цилиндрических, торцевых и резьбовых поверхностей, канавок фасок, и галтелей. Рассмотрим их содержание на примере обработки на станке модели АТПУ-125. Автоциклы однопереходной обработки наружных (см. рис. 5.10, *а*), внутренних (см. рис. 5.10, *б*) цилиндрических и торцевых (см. рис. 5.10, *в*) поверхностей включают движение инструмента на рабочей подаче из ТНО по оси OZ, его "отскок" на $0,5 \ldots 1$ мм и возврат в ТНО на ускоренном ходу. Содержание кадров автоциклов обтачивания, растачивания и подрезания торца соответственно следующее:

N20 L14 Z10000 ПС,
N20 L15 Z10000 ПС,
N20 L16 X9500 ПС.

Здесь L – номера соответствующих автоциклов, Z – координата конечной точки цикла обработки, X – конечный диаметр подрезаемого торца.

Многоходовая обработка наружных цилиндрических поверхностей (см. рис. 5.10, *г*) записывается одним кадром:

N05 L22 X11500 Z10000 P3 ПС.

Для нарезания резьбы предусмотрены многоходовые циклы на проход (см. рис. 5.10, *д*, *е*) и со сбегом (см. рис. 5.10, *ж*, *з*). Содержание кадров в них включает номер цикла L10 и L20 соответственно, внутренний диаметр резьбы (адрес X), координаты конечной точки резьбы по длине (адрес Z), шаг резьбы (адрес K), глубину резания за первый рабочий ход (адрес P), коэффициент изменения глубины резания (адрес R1), минимальную величину заглубления (адрес R2) и способ нарезания резьбы (адрес R3). Дискретность задания R1 составляет 0,01 мм (например, R1+80 означает, что глубина резания на каждом последующем рабочем ходе равна 0,8P, где P – глубина резания на предшествующем ходе). После достижения R2+10 осуществляется переход на постоянную величину заглубления, равную 0,1 мм. При R3+1 происходит врезание со смещением по оси OZ (рис. 5.15, *а*), а при R3+0 смещение по оси OZ не происходит (рис. 5.15, *б*). Содержание кадра нарезания резьбы на этом станке для схем, представленных на (рис. 5.10, *д*, *з*), соответственно имеет вид

N010 L10 X + 8462 Z + 10000 K2500
P500 R1 + 80 R2 + 20 R3 + 0 ПС

N010 L20 X + 10000 Z + 10000 K2500
P500 R1 + 80 R2 + 20 R3 + 0 ПС.

Глубокое сверление (см. рис. 5.10, *и*) (цикл L9) записывается следущим кадром:

N05 L9 Z+30000 P+20000 R1+70 R2+10000 ПС.

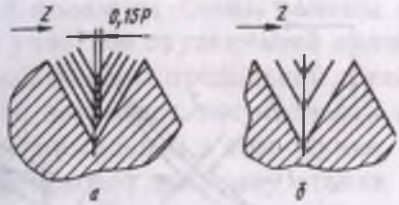


Рис. 5.15. Схемы обработки впадины резьбы: *а* – врезание с осевым смещением; *б* – врезание без осевого смещения

Здесь первый рабочий ход равен 20 мм, второй 20 × ×0,7 = 14 мм, третий 14 × 0,7 = 9,8 мм. Так как третий ход получается меньше 10 мм, то начиная с него все остальные рабочие ходы выполняются на глубину сверления 10 мм (R2 + 10000).

Обработка широких наружных и внутренних канавок осуществляется по схеме "спуск" (см. рис. 5.11, *а*) и программируется так:

N010 L12 X+20000 Z+15000 P5000 IIC,

где X – внутренний диаметр канавки; Z – ее ширина; P – шаг прорезки.

На фрезерных и сверлильно-фрезерно-расточных станках предусмотрены автоциклы от G81 до G89, обеспечивающие обработку типовых поверхностей сверлением, растачиванием, нарезанием резьбы метчиком и т.д. В них предусмотрена различная кинематика осевого перемещения инструмента, обеспечивающая стружкодробление, исключение рисок на поверхности при выводе резца из отверстия, обработку на прямом и обратном ходу.

5.2.4. Повышение точности обработки

Помимо рассмотренных ранее погрешностей при обработке на станках с ЧПУ имеют место специфические погрешности обработки. К ним относятся прежде всего погрешности аппроксимации и интерполяции. Они возникают на стадии подготовки УП при обработке криволинейных контуров.

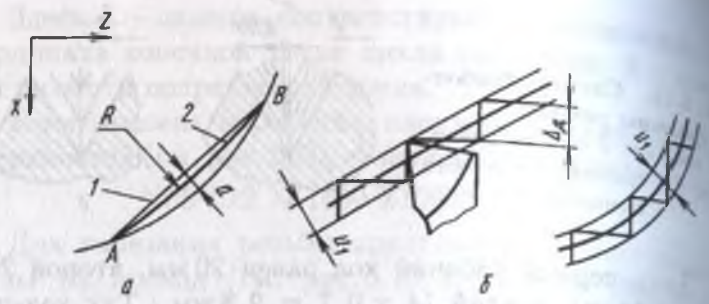


Рис. 5.16. Погрешности аппроксимации (*а*) и интерполяции (*б*)

Погрешностью аппроксимации называют погрешность, возникающую в результате замены криволинейного контура между опорными точками обрабатываемого профиля близким к нему прямолинейным или криволинейным контуром, имеющемся в устройстве ЧПУ. Такая замена необходима в связи с наличием в устройстве ЧПУ определенного математического обеспечения в системе управления контурными перемещениями. Современные устройства ЧПУ имеют линейную и круговую интерполяцию, обеспечивающую перемещение исполнительного органа по прямой или дуге окружности. На рис. 5.16, *а* показан пример замены криволинейной поверхности на участке AB отрезками прямой *1* (линейная аппроксимация) и дугой окружности *2* (круговая аппроксимация). Из рисунка видно, что погрешность аппроксимации a – чисто геометрическая величина. Ее можно сколь угодно уменьшить, сближая точки A и B, т.е. увеличивая число опорных точек на программируемой поверхности. При обработке цилиндрических, конических, торцевых, сферических и тороидальных поверхностей эта погрешность равна нулю.

Погрешность интерполяции возникает в результате замены аппроксимирующих прямых и криволинейных отрезков ступенчатой линией. Это обусловлено спецификой работы приводов станка с ЧПУ, которые работают в строгой последовательности и не могут функционировать од-

новременно. На рис. 5.16, *б* показаны схемы замены наклонного и криволинейного участков ступенчатой линией, образуемой поочередным включением продольной и поперечной подач. В результате возникает погрешность интерполяции u_1. Она будет минимальной в том случае, когда высота ступеньки не превышает дискрету станка $\Delta_д$ – минимальное перемещение, отрабатываемое приводом.

При воспроизведении УП на станке с ЧПУ возникает погрешность позиционирования исполнительных органов. Эта погрешность зависит от многих факторов: перемещающейся массы (стол с заготовкой), скорости перемещения, типа обратной связи, принятого способа подхода в заданное положение, точности работы и изготовления привода подач и т.д. Погрешность позиционирования имеет систематическую и случайную составляющие. На рис. 5.17, *а* показана систематическая $\overline{\Delta}_{поз}$ и случайная $\Delta_{поз}$ составляющие погрешности позиционирования при многократном перемещении n исполнительного органа из одной точки в другую на величину A, а на рис. 5.17, *б* – в зависимости от перемещения исполнительного органа. Из графика (см. рис. 5.17, *б*) видно, что случайная составляющая погрешности позиционирования почти не зависит от пути перемещения.

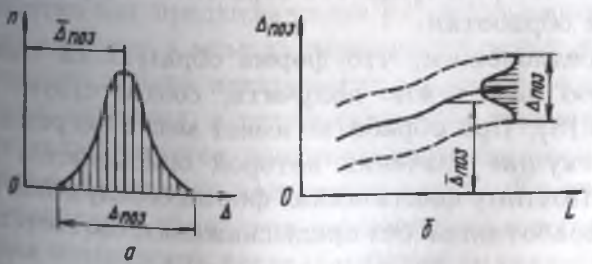


Рис. 5.17. Погрешность позиционирования

Систематическая составляющая может изменяться достаточно заметно. Современные системы ЧПУ позволяют по результатам приведенного на рис. 5.17, *б* экспе-

римента определить закон изменения $\overline{\Delta}_{поз} = f(L)$ и ввести его в устройство ЧПУ. Система ЧПУ в этом случае обеспечивает полную компенсацию этой погрешности при перемещении исполнительного органа. Для уменьшения систематической и случайной составляющих погрешности позиционирования в станках с ЧПУ предусматривают обратную связь по перемещению исполнительного органа (замкнутые системы ЧПУ), применяют гидро- и пневмостатические направляющие, винтовые пары качения, вибрационные устройства в приводе подач и другие решения, уменьшающие вредное влияние сил трения.

Станки с ЧПУ обеспечивают возможность компенсации погрешности формы, а в ряде случаев и взаимного расположения путем ввода предыскажений в УП. Существует три способа предыскажения УП:

1) предыскажение траектории перемещения инструмента при выполнении последнего для данной поверхности перехода;

2) целенаправленное изменение рабочей подачи;

3) целенаправленное изменение глубины резания, или предыскажение траектории перемещения инструмента при выполнении предпоследнего для данной поверхности перехода.

Рассмотрим сущность первого способа на примере токарной обработки.

Предположим, что форма образующей поверхности, которую нам нужно получить, соответствует кривой *1* (рис. 5.18). При обработке имеет место погрешность формы, текущие значения которой описываются функцией $\Delta(z)$. Поэтому фактическая форма образующей поверхности, обработанной без предыскажения, соответствует кривой *5*.

Сущность метода состоит в том, что траекторию перемещения инструмента предыскажают в процессе подготовки УП на величину текущих значений погрешности формы. Следовательно, она должна соответствовать по форме кривой *3*, которая является зеркальным отображе-

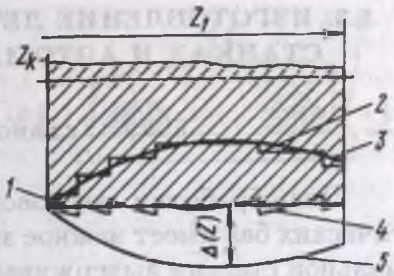


Рис. 5.18. Предыскажение траектории перемещения инструмента

нием кривой *5*. Ранее отмечалось, что в силу специфики работы приводов станка обеспечить перемещение инструмента по плавной кривой не представляется возможным. Поэтому фактическая программируемая предыскаженная траектория перемещения инструмента является ступенчатой (см. кривая *2*), вписанной в кривую *3*. В результате фактический профиль поверхности после обработки с предыскажением соответствует (геометрически) кривой *4*.

Рассмотренный метод компенсации погрешности формы весьма прост. Его расчет основан на геометрических соотношениях и адекватен реально выполняемому предыскажению. Искаженную траекторию записывают в нескольких кадрах программы для каждой опорной точки (при обработке без предыскажения ее записывают в одном кадре), поэтому в момент перехода из одной опорной точки в другую подача инструмента на какой-то момент времени прекращается, в результате сила резания падает и происходит упругое восстановление системы. Это обуславливает появление кольцевых рисок. Кроме того, ввиду ступенчатого характера перемещения инструмента образующая поверхность после обработки не является прямолинейной. Поэтому данный способ целесообразно применять для предварительной обработки поверхности.

Помимо токарной обработки этот способ весьма эффективен для компенсации погрешности формы при фрезеровании концевыми фрезами угловых сопряжений.

5.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

5.3.1. Установка заготовок

Для обработки заготовок на АС и АЛ выбор технологических баз имеет важное значение. Необходимо в максимальной степени выдерживая постоянство баз, стремиться к совмещению технологических и измерительных баз. Это нужно для обеспечения постоянства положения обрабатываемой заготовки на АЛ, поскольку любое изменение положения заготовки приводит к необходимости встраивать в линию кантователь, вращатель или иной механизм, что усложняет АЛ. Постоянная база упрощает транспортирование заготовки от позиции к позиции. При обработке на АС и АЛ заготовки устанавливают в стационарные приспособления, в приспособления на поворотных и подвижных столах, а также в приспособления-спутники, перемещающиеся от станка к станку.

Многократная установка заготовок вызывает износ контактирующих поверхностей приспособлений и технологических баз заготовок (особенно из легких сплавов), что приводит к увеличению доли погрешности установки в суммарной погрешности обработки. В производстве применяют практически все типовые схемы установки, а также сочетания из элементов типовых схем. В стационарные приспособления заготовки корпусных деталей и приспособления-спутники чаще всего устанавливают на плоскость и два перпендикулярных ей отверстия (рис. 5.19). Такая схема лишает заготовку шести степеней свободы, что позволяет использовать метод автоматического получения размеров в любом направлении трехосной системы координат, обеспечивает возможность подвода инструментов с нескольких сторон, сохраняет постоянство баз при многократных установках, создает возможность автоматического транспортирования заготовок по линии и надежной фиксации в рабочих позициях.

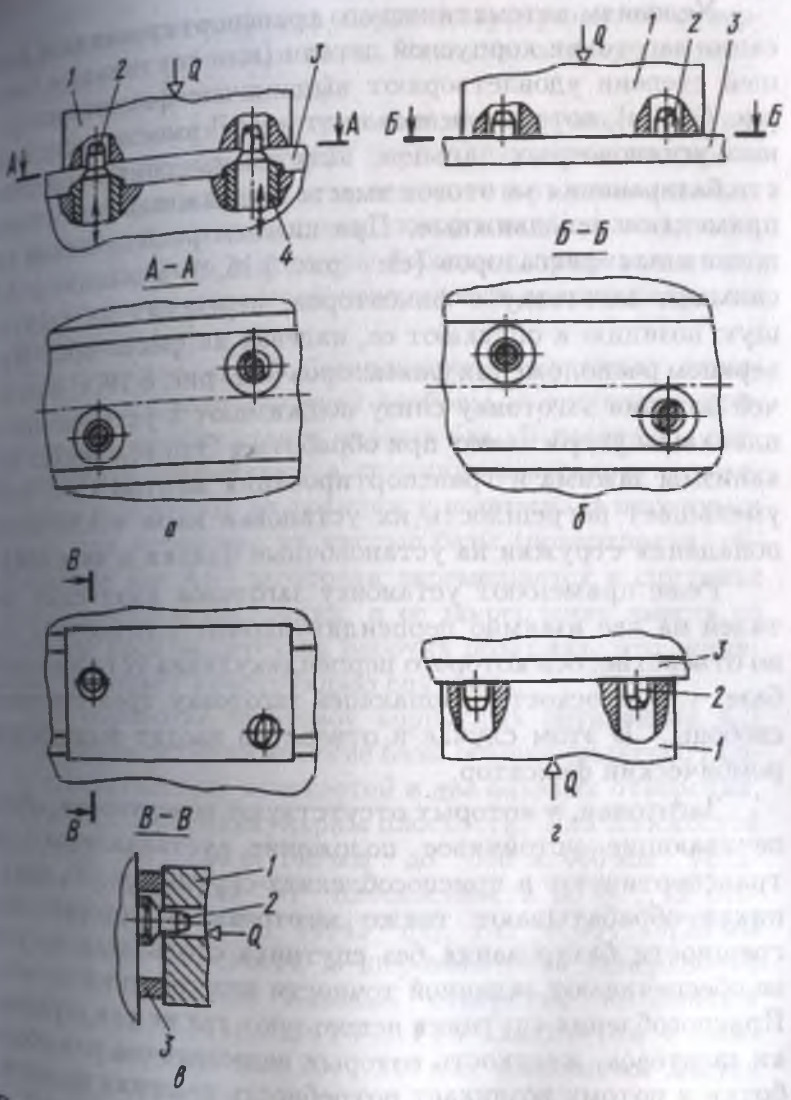


Рис. 5.19. Схемы установки заготовок и приспособлений-спутников:

а – на выдвижные фиксаторы; *б – г* – на неподвижные фиксаторы по нижней, боковой и верхней плоскости соответственно; *1* – заготовка (спутник); *2* – фиксаторы; *3* – базовые планки; *4* – направляющие втулки

Условиям автоматического транспортирования и фиксации заготовки корпусной детали (или спутника) в большей степени удовлетворяют выдвижные фиксаторы (см. рис. 5.19, *а*), которые используют на АЛ вместо неподвижных установочных пальцев. Для уменьшения погрешности базирования заготовок вместо выдвижных фиксаторов применяют неподвижные. При нижнем расположении неподвижных фиксаторов (см. рис. 5.15, *б*) механизмы АЛ снимают заготовку с фиксаторов, переносят на следующую позицию и опускают ее, надевая на фиксаторы. При верхнем расположении фиксаторов (см. рис. 5.19, *г*) в рабочей позиции заготовку снизу поджимают к установочным планкам и удерживают при обработке. Это усложняет механизмы зажима и транспортирования заготовок, но зато уменьшает погрешность их установки из-за исключения попадания стружки на установочные планки и их износа.

Реже применяют установку заготовок корпусных деталей на две взаимно перпендикулярные плоскости и одно отверстие, ось которого перпендикулярна установочной базе, т.е. плоскости, лишающей заготовку трех степеней свободы. В этом случае в отверстие вводят выдвижной ромбический фиксатор.

Заготовки, у которых отсутствуют поверхности, обеспечивающие устойчивое положение, устанавливают и транспортируют в приспособлениях-спутниках. На спутниках обрабатывают также заготовки, у которых погрешности базирования без спутника столь велики, что не обеспечивают заданной точности изготовления детали. Приспособления-спутники используют также для установки заготовок, жесткость которых недостаточна для обработки и потому возникает потребность введения подводимых опор.

Способы базирования заготовок в приспособлениях-спутниках разнообразны, используют почти все типовые схемы и сочетания из элементов типовых схем. Чаще других применяют следующие схемы базирования:

а) на плоскость и два перпендикулярных ей отверстия (крышки зубчатых колес, станины электродвигателей, корпуса насосов и т.п.);

б) на плоскость и внутреннюю или наружную поверхность вращения, ось которой перпендикулярна плоскости и выступу или впадине для ориентации в угловом отношении (ролики, звездочки, диски, поворотные кулаки);

в) на плоскость и контуры бобышек, приливов и т.п., т.е. на элементы наружной поверхности вращения (рычаги, шатуны и др.).

Как правило, схемы базирования в спутниках лишают заготовку шести степеней свободы и допускают применение как чистых, так и черных баз. В последнем случае заготовку закрепляют в спутнике и в таком положении транспортируют от позиции к позиции. В некоторых случаях при установке на чистые базы (поверхности, обработанные вне АЛ) заготовка перемещается в спутнике в незакрепленном состоянии, а ее закрепление вместе со спутником производится на рабочих позициях, что значительно упрощает конструкцию спутника.

При обработке заготовок корпусных деталей на АЛ без спутников технологические базы обычно включают одну из ответственных плоскостей и два базовых отверстия, оси которых перпендикулярны плоскости. Для плоскостей размерами от 160×140 мм до 580×460 мм установлены отклонения от плоскостности по 8...12 степеням точности (ГОСТ 24643 – 81), т.е. $0,05 \ldots 0,25$ мм на всей длине плоскости и шероховатость поверхности $Ra = 2,5 \ldots 12,5$ мкм. Базовые отверстия выполняют диаметром 12...16 мм по $IT7 \ldots IT9$ квалитетам с межосевыми расстояниями 70...540 мм, имеющими допуск $\pm 0,012 \ldots \pm 0,1$ мм.

Погрешность базирования $\varepsilon_б^{\Gamma}$ на плоскость и два отверстия (рис. 5.20, *а*, *б*) в направлении, параллельном плоскости (горизонтальная плоскость), выражается в смещении заготовки из номинального положения *I* в положение *II* или *III*. Поступательное смещение заготовки

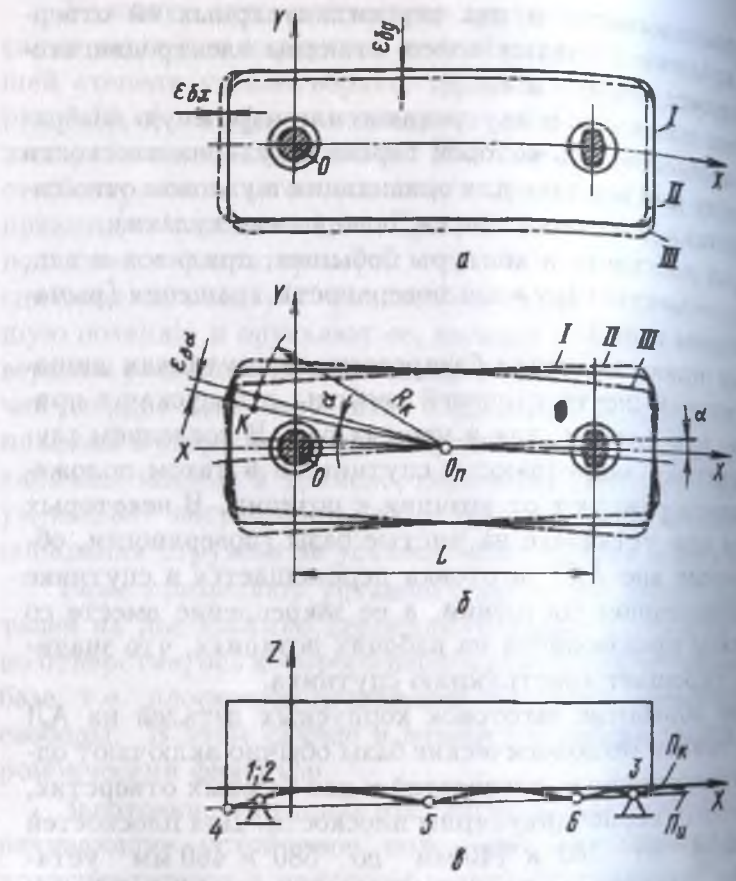


Рис. 5.20. Погрешности базирования на плоскость и два отверстия с перпендикулярными ей осями:

а, б – соответственно в плоскости XOY и параллельно ей; *в* – в плоскости XOZ

возможно в направлении какой-либо из осей координат в пределах максимальных зазоров S_{max}, Δ_{max} в сопряжениях "базовое отверстие – фиксатор" и "фиксатор – направляющая втулка" соответственно (см. рис. 5.20, *а*):

$$\varepsilon_{бx} = \varepsilon_{бy} = \frac{S_{max} + \Delta_{max}}{2}.$$

При повороте заготовки на угол α (см. рис. 5.20, *б*) в пределах тех же зазоров погрешность базирования, отнесенная к точке K, выразится:

$$\varepsilon_{б_\alpha} = \frac{S_{max} + \Delta_{max}}{L} R.$$

В этих выражениях S_{max} – максимальный диаметральный зазор в любом сопряжении фиксатора с заготовкой $S_{max} = S_{ц\ max} = S_{р\ max}$; $S_{ц\ max}$, $S_{р\ max}$ – максимальный диаметральный зазор в сопряжении отверстия заготовки соответственно с цилиндрическим и ромбическим фиксатором (при одинаковых посадках в этих сопряжениях); Δ_{max} – максимальный диаметральний зазор в сопряжении любого фиксатора с направляющей втулкой, $\Delta_{max} = \Delta_{ц\ max} = \Delta_{р\ max}$; $\Delta_{ц\ max}$, $\Delta_{р\ max}$ – максимальный диаметральный зазор в сопряжении направляющей втулки соответственно с цилиндрическим и ромбическим фиксатором; L – расстояние между центрами базовых отверстий; R – расстояние от точки K до полюса $O_{П}$ (см. рис. 5.20, *б*); R определяют в плоскости, параллельной базовой установочной плоскости.

Погрешность базирования $\varepsilon_б^в$ в направлении, перпендикулярном установочной плоскости (вертикальная плоскость, рис. 5.20, *в*), при совмещенной технологической и измерительных базах теоретически отсутствует, а фактически она возникает в связи с погрешностями формы (отклонениями от плоскостности) базовой плоскости заготовки. Отклонение от плоскостности $T_{пл}$ базовой плоскости приводит к несовпадению плоскости контакта $П_к$ заготовки с точечными опорами *1*, *2*, *3* приспособления и ее измерительной плоскости $П_и$, контактирующей с контрольной плитой по наиболее выступающим точкам *4*, *5*, *6*. При базировании заготовки на планки погрешность базирования из-за отклонений от плоскостности базы значительно уменьшается, но все же имеет место. Погрешность базирования, зависящая от отклонений от плоскостности базовой плоскости,

$$\varepsilon_б^в = kT_{пл},$$

где k – коэффициент, учитывающий вид опор и их расположение, равный $0,5 \ldots 0,8$ для трехточечных опор и $0,2 \ldots 0,24$ при использовании планок; $T_{пл}$ – допускаемое отклонение от плоскостности базовой поверхности заготовки.

По ряду причин, указанных ранее, заготовки устанавливают в приспособления-спутники. В большинстве случаев в загрузочной позиции АЛ заготовку базируют на установочные элементы приспособления-спутника и зажимают там с помощью электро- или гидромеханического ключа. В рабочих позициях АЛ приспособления-спутники фиксируют (базируют) и закрепляют в стационарных приспособлениях. В этом случае погрешность установки заготовок ε в позициях АЛ:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{заг}^2 + \varepsilon_{сп}^2}.$$

Здесь $\varepsilon_{заг}$ – погрешность установки заготовок в приспособлениях-спутниках,

$$\varepsilon_{заг} = \sqrt{\varepsilon_{б.заг}^2 + \varepsilon_{з.заг}^2};$$

$\varepsilon_{б.заг}$, $\varepsilon_{з.заг}$ – соответственно погрешность базирования и закрепления заготовок в приспособлениях-спутниках; $\varepsilon_{сп}$ – погрешность установки, вносимая приспособлением-спутником,

$$\varepsilon_{сп} = \sqrt{\varepsilon_{б.с}^2 + \varepsilon_{з.с}^2 + \varepsilon_{и}^2 + \varepsilon_{и.заг}^2 + \varepsilon_{и.с}^2},$$

$\varepsilon_{б.с}$, $\varepsilon_{з.с}$ – соответственно погрешность базирования и закрепления спутников в стационарных позиционных приспособлениях; $\varepsilon_{и}$ – погрешность изготовления комплекта спутников по выдерживаемым параметрам точности обработки заготовок; $\varepsilon_{и.заг}$ – погрешности от износа установочных элементов под заготовки на спутнике; $\varepsilon_{и.с}$ – погрешности от износа установочных элементов спутника в позиционного приспособления.

Значительно реже, например при базировании заготовки на плоскость и два перпендикулярных ей отверстия, заготовка перемещается по АЛ в спутнике в незакрепленном состоянии, а ее закрепление производится на рабочих позициях. Погрешность установки заготовок при этом

$$\varepsilon' = \sqrt{\varepsilon^2_{б.заг} + \varepsilon^2_{б.с} + \varepsilon^2_{з.заг+с} + \varepsilon^2_{и} + \varepsilon^2_{и.заг} + \varepsilon^2_{и.с}},$$

где $\varepsilon_{з.заг+с}$ – погрешность закрепления заготовок при зажиме заготовки совместно со спутником в рабочей позиции.

Погрешность шага транспортера, передающего заготовку или спутник на следующую позицию АЛ, вызывает несовпадение осей базовых отверстий заготовки (спутника) с осями выдвижных фиксаторов. Поэтому процесс фиксации проходит со значительными динамическими нагрузками механизма фиксации и других элементов. Для АЛ со спутниками, особенно при их больших габаритных размерах и массах, выдвижные цилиндрические фиксаторы могут быть исключены вследствие использования принципиально иных схем базирования спутников, предложенных Н.П. Большагиным.

На рис. 5.21, *а* – *в* показаны схемы установки спутников с гарантированным прижимом к базовым элементам рабочих позиций. При установке спутника призмой по цилиндрическим колонкам (см. рис. 5.21, *а*) погрешность базирования в направлении оси OZ равна нулю. В направлении оси OX эта погрешность зависит от допусков T_{d_1} и T_{d_2} на диаметры колонок и угла призмы α. В области призмы

$$\varepsilon'_б = \frac{T_{d_1}}{2\sin(\alpha/2)},$$

в области плоской базы

$$\varepsilon''_б = \frac{T_{d_2}}{2}.$$

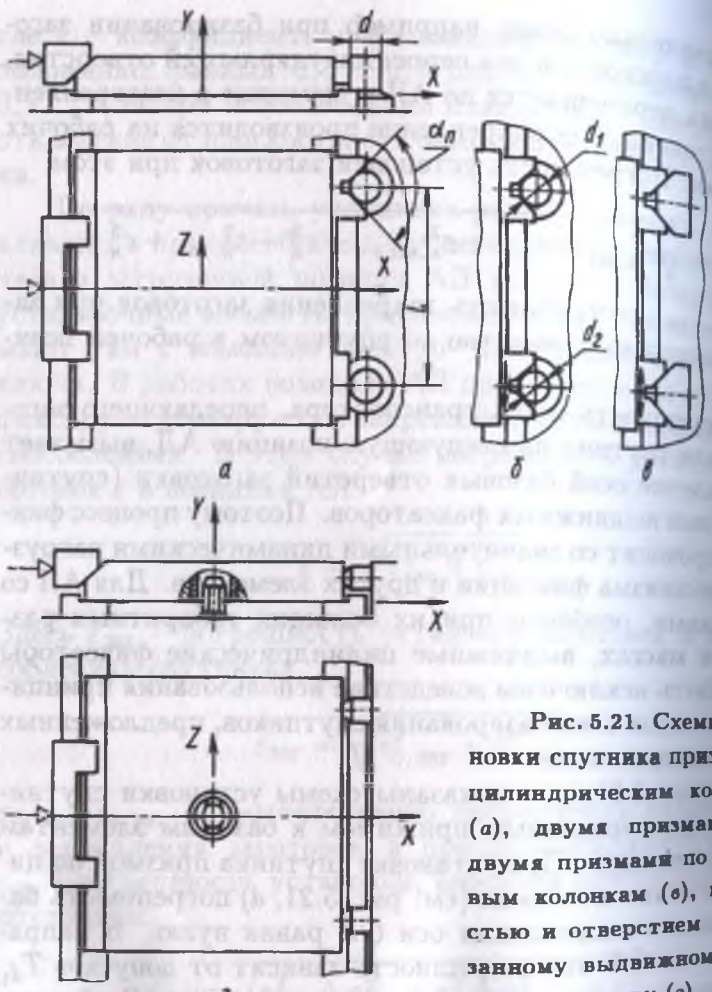


Рис. 5.21. Схемы установки спутника призмой по цилиндрическим колонкам (*а*), двумя призмами (*б*), двумя призмами по клиновым колонкам (*в*), плоскостью и отверстием по срезанному выдвижному фиксатору (*г*)

Возможно базирование спутника двумя призмами по клиновым колонкам позиции (см. рис. 5.21, *в*).

Спутники, имеющие малые габаритные размеры и массу устанавливают на две взаимно перпендикулярные плоскости и одно отверстие, ось которого перпендикулярна установочной плоскости (рис. 5.21, *г*).

5.3.2. Обработка плоских поверхностей

На АЛ и поточных линиях из АС значительное место по объему срезаемого материала и продолжительности резания занимает обработка плоских поверхностей заготовок корпусных деталей. Расположение, вид и форма этих поверхностей существенно влияют на схемы построения обработки заготовок на рабочих позициях АЛ (или на станках поточной линии) и на компоновки этих позиций (или станков). Плоские поверхности могут находиться на одной (рис. 5.22, *а*) или на нескольких сторонах (рис. 5.22, *б*, *в*, *д*) заготовки; они бывают расположены горизонтально (плоскости *5*, *6*, *10*), вертикально (плоскости *3*, *7*), под углом к горизонтали (или вертикали) (плоскости *4*, *8*); параллельно (плоскости *1*, *2*, *3*, *5*, *6*, *9*, *10*), перпендикулярно (плоскости *6* и *7*) или под прямым углом одна относительно другой (плоскости *4*, *8*) (см. рис. 5.22).

Условия обработки плоскостей и способы подвода режущего инструмента также зависят от расположения плоскостей: внешние открытые плоскости *6*, *8*, *9*, *10* (см. рис. 5.22) получают сквозным фрезерованием торцевыми фрезами; для внешних закрытых плоскостей *5* сквозная обработка не применима (требуется сочетание движений в разных направлениях); внутренние плоскости *7* могут быть обработаны при вводе инструмента внутрь заготовки (обычно при сложном движении).

При расположении обрабатываемых плоскостей с нескольких сторон заготовки (плоскости *8*, *9* на рис. 5.22, *д*) применяют один фрезерный агрегатный многошпиндельный станок с многосторонним расположением фрезерных бабок, причем число бабок равно числу обрабатываемых сторон заготовки, или ряд одношпиндельных агрегатных станков с различным расположением шпинделей (горизонтальным, наклонным и т.п.). Можно также использовать один агрегатно-фрезерный одношпиндельный станок, оснащенный дополнительными механизмами поворота заготовки (кантователями, вращателями и т.п.). При

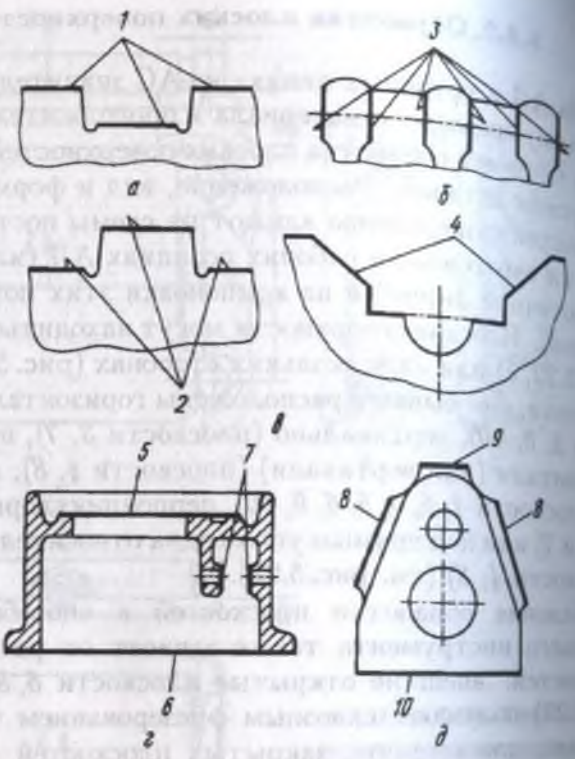


Рис. 5.22. Расположение обрабатываемых плоскостей корпусных деталей

этом варианте компоновки рабочей позиции весьма вероятна смена технологических баз заготовки, что приводит к увеличению цикла обработки и снижению точности расположения обрабатываемых поверхностей. В случае параллельного (см. рис. 5.22, *а, б*), перпендикулярного или наклонного (см. рис. 5.22, *в*) расположения плоскостей на одной стороне заготовки их обработку целесообразно вести наборами дисковых, угловых, цилиндрических и иных фрез, установленных на одном шпинделе станка.

Можно дать следующие рекомендации по технологичности конструкций корпусных деталей, плоскости которых подлежат обработке на АЛ и АС:

1) внешние плоские поверхности, обработка которых возможна торцевыми фрезами напроход, проектировать открытыми, увязывая ширину обрабатываемой плоскости с диаметрами нормального ряда торцевых фрез;

2) несколько взаимосвязанных плоских поверхностей, расположенных на одной стороне заготовки на разных уровнях, проектировать так, чтобы их обработка была возможна наборами фрез, установленных на одном шпинделе станка;

3) платики, бобышки, уступы и другие отдельные плоские поверхности, находящиеся на одной стороне детали, располагать на одном уровне (для обработки напроход одной торцевой фрезой);

4) контуры внешних открытых плоскостей должны обеспечивать равномерный и безударный съем стружки;

5) расположение технологических базовых поверхностей должно обеспечивать обработку плоскостей, связанных жесткими допусками взаимного расположения, при одной установке заготовки, в одной позиции (станка);

6) элементам заготовки, имеющим обрабатываемые плоскости, придавать высокую и равномерную жесткость, способствующую повышению точности обработки и применению высокопроизводительных методов обработки;

7) внутренние плоскости, требующие ввода инструмента внутрь заготовки, желательно исключать;

8) предпочтительно создавать пазы открытого или полуоткрытого типа для обработки за один рабочий ход дисковой фрезой (вместо пальцевой фрезы), обеспечивающей более высокие производительность и размерную стойкость, простую кинематику рабочих движений.

Внешние открытые плоскости *6*, *8*, *9* и *10* (см. рис. 5.22) обрабатывают на АЛ преимущественно торцевыми насадными фрезами, оснащенными пластинками из твердого сплава. Конструктивно-технологические параметры торцевых фрез для АЛ и АС (конструкция фрезы, ее диаметр, число зубьев, материал режущей части, точностные параметры и др.) выбирают в зависимости от

ряда факторов:

1) материала обрабатываемой заготовки (сталь, чугун, сплав цветных металлов);

2) вида обработки (черновая, получистовая, чистовая, тонкая) и величины припуска;

3) ширины фрезеруемой плоскости, определяющей диаметр фрезы;

4) требуемой минутной подачи $S_м$, влияющей на число зубьев фрезы z, подачу на зуб S_z, подачу на оборот фрезы S (для АЛ $S_м = S_n = S_z z n = \dfrac{L_{р.х}}{\tau_ц - \tau_в}$, где n – частота вращения фрезы, мин$^{-1}$; $L_{р.х}$ – длина рабочего хода фрезы, мм; $\tau_ц$ – продолжительность цикла силовой головки, мин; $\tau_в$ – вспомогательное время, мин; для предварительных расчетов АЛ $\tau_в = 0,15 \ldots 0,4$ мин);

5) точности обработки плоскости (допуск на размер, форму или расположение) и шероховатости поверхности, влияющих на геометрию режущих зубьев фрезы (углы зубьев в плане, передний и задний углы, число зубьев, биение режущих кромок и т.п.).

Диаметр торцевой насадной фрезы должен быть в $1,2 \ldots 1,5$ раза больше ширины обрабатываемой поверхности, его выбирают из стандартного ряда. С диаметром фрезы связано число зубьев *.

При торцевом фрезеровании вследствие упругих деформаций технологической системы, отклонений от прямолинейности перемещения стола, торцевого биения режущих кромок фрезы и воздействия других факторов на обработанной поверхности из-за поворота фрезы возможно появление рисок. Для предотвращения этого ось шпинделя фрезерной бабки устанавливают под углом $90^o - \varphi$ к направлению подачи (рис. 5.23). Этим создается "разворот" ("завал") торца фрезы относительно обрабатываемой

* Данные для выбора конструкции торцевой фрезы для применения на АЛ можно взять в книге "Справочник технолога по автоматическим линиям" / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

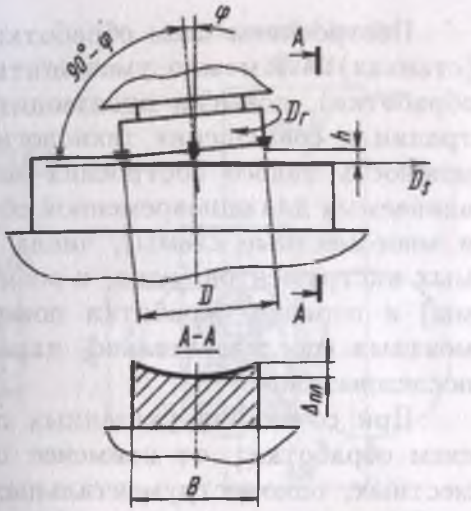


Рис. 5.23. Отклонение от плоскости при "завале" фрезы

поверхности на угол φ, величина которого зависит от диаметра фрезы, торцевого биения режущих кромок фрезы и упругих деформаций технологической системы.

"Завал" фрезы вызывает отклонение от плоскостности $\Delta_{пл}$ обработанной поверхности (вогнутость, описанную дугой эллипса) в направлении, перпендикулярном подаче D_S (см. рис. 5.23):

$$\Delta_{пл} = 0,5\,(D - \sqrt{D^2 - B^2})\sin\varphi,$$

где D – диаметр фрезы по режущим кромкам, мм; B – ширина фрезеруемой поверхности, мм.

При чистовом и тонком фрезеровании для исключения рисок на обрабатываемой плоской поверхности, образующихся при обратном ходе фрезы, предусматривают отвод (отскок) фрезы на небольшое расстояние в направлении, перпендикулярном подаче или обработанной поверхности. Плоскости обрабатывают на АС с фрезерными бабками, установленными на подвижные силовые столы или на неподвижные элементы станка. В первом случае подачу выполняют перемещением фрезерной бабки, во втором – перемещением заготовки, установленной на силовом столе.

Построением схем обработки заготовок на позициях (станках) АЛ можно уменьшить основное время (время обработки), повысив производительность путем концентрации и совмещения технологических переходов. Возможность такого построения зависит от числа устанавливаемых для одновременной обработки заготовок (одно- и многоместные схемы), числа одновременно применяемых инструментов (одно- и многоинструментальные схемы) и порядка обработки поверхностей этими инструментами (последовательно, параллельно и параллельно-последовательно).

При сочетании указанных признаков получают ряд схем обработки: от наименее производительных (одноместных, одноинструментальных, последовательных) до наиболее производительных (многоместных, многоинструментальных, параллельных и параллельно-последовательных). На рис. 5.24 показано торцевое фрезерование открытых вертикальных плоскостей заготовки коробки передач автомобиля, выполненное как одноместная многоинструментальная двухсторонняя параллельная схема обработки.

Для уменьшения копирования исходных погрешностей заготовки черновое фрезерование выполняют с подачей в вертикальном направлении 1 – 1, а чистовое – в горизонтальном направлении 2 – 2 (см. рис. 5.24), при этом схемы установок заготовок на обоих станках одинаковые. Черновое фрезерование в направлении 1 – 1 выполняют с быстрым обратным ходом без отвода фрезы от обработанной поверхности, что может привести к образованию рисок. В позиции чистового фрезерования (в направлении 2 – 2 на рис. 5.24) при обратном ходе фреза быстро отводится от обработанной поверхности. Быстрый отвод на цикле работы силовой головки исключает появление рисок на обработанной плоскости.

Точность обработки открытых плоскостей при выдерживании линейных размеров зависит от погрешностей установки заготовок, упругих и тепловых деформаций тех

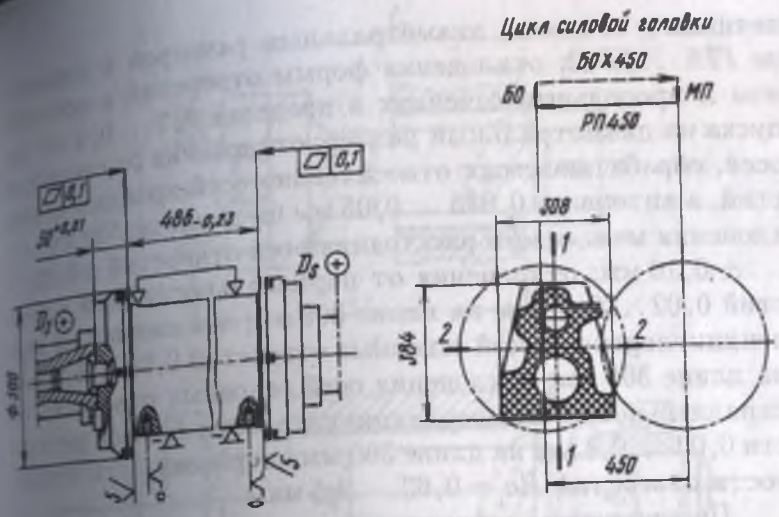


Рис. 5.24. Фрезерование открытых вертикальных плоскостей заготовки коробки передач на АЛ (РП – рабочая подача; БО – быстрый отвод; БОХ – быстрый обратный ход; МП – медленная подача)

нологической системы, погрешности настройки фрез на заданных размер, размерного износа зубьев фрез. Погрешности формы и расположения обрабатываемых плоскостей в значительной степени определяются геометрическими неточностями элементов агрегатно-фрезерных станков: на унифицированные фрезерные бабки и силовые столы установлены классы точности Н и П, а на взаимное расположение узлов АС в зависимости от точности силового стола – классы Н, П и В. В справочной литературе приведена информация о точности и шероховатости плоскостей, обрабатываемых на АЛ и АС.

5.3.3. Обработка основных и крепежных отверстий

На АЛ обработку основных отверстий заготовок корпусных деталей диаметром от 15 до 400 мм выполняют преимущественно растачиванием однолезвийным инструментом на агрегатно-расточных станках. При этом обес-

печивают точность диаметральных размеров в диапазоне $IT6 \ldots IT12$; отклонения формы отверстий в поперечном и продольном сечениях в пределах $0,2 \ldots 0,5$ от допуска на диаметральный размер; отклонения от соосности осей, обрабатываемых относительно осей крайних отверстий, в интервале $0,015 \ldots 0,05$ мм на длине до 500 мм; отклонения межосевого расстояния осей отверстий $\pm 0,02 \ldots \pm .0,10$ мм; отклонения от параллельности осей отверстий $0,02 \ldots 0,08$ мм на длине 300 мм; отклонения от перпендикулярности осей основных отверстий $0,03 \ldots 0,10$ мм на длине 300 мм; отклонения осей основных отверстий от параллельности или перпендикулярности базовой плоскости $0,03 \ldots 0,1$ мм на длине 300 мм; шероховатость поверхности отверстий $Ra = 0,63 \ldots 2,5$ мкм.

По некоторым параметрам точности обработки основных отверстий заготовок корпусных деталей, например по отклонениям от соосности осей отверстий, отклонениям от перпендикулярности осей отверстий и их торцев, обработка на агрегатно-расточных и расточно-подрезных станках не имеет конкурентов. Схемы обработки на них отверстий и сопряженных поверхностей заимствуют для других видов металлорежущего оборудования.

Отверстия на агрегатно-расточных станках обрабатывают борштангами, применяя два способа соединения со шпинделями: жесткое, с базированием борштанги поверхностью вращения (выступ – шейка хвостовика или отверстия) и плоскостью фланца, с закреплением через фланец (рис. 5.25) и плавающее (рис. 5.26). В последнем случае хвостовик борштанги *3* устанавливают в плавающий патрон *2*, а патрон – хвостовиком в шпиндель *1* с базированием борштанги специальными узлами направления. Плавающий патрон допускает возможность смещения оси борштанги на $0,5 \ldots 2,0$ мм и поворот ее оси на угол до 5°. Плавающий патрон передает крутящий момент от шпинделя борштанге и обеспечивает ее осевую фиксацию. На агрегатно-расточных станках и в позициях АЛ используют четыре способа направления борштанги:

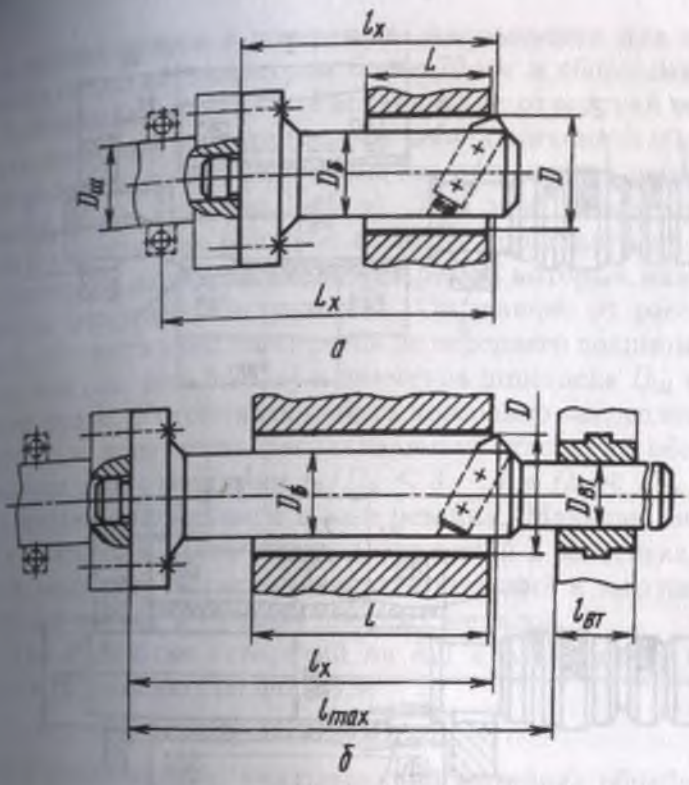


Рис. 5.25. Схемы инструментальных наладок для растачивания при жестком соединении инструмента со шпинделем:
а – без направления; *б* – с задним направлением

1) заднее направление – дополнительная опора (направляющая втулка) находится за обрабатываемой заготовкой;

2) переднее направление – дополнительная опора (втулка) установлена перед заготовкой относительно направления подачи инструмента;

3) переднее и заднее направление – двухопорная схема направления, дополнительные опоры находятся перед заготовкой и за нею;

4) многоопорное направление – кроме передней и задней опор имеются одна или несколько промежуточных.

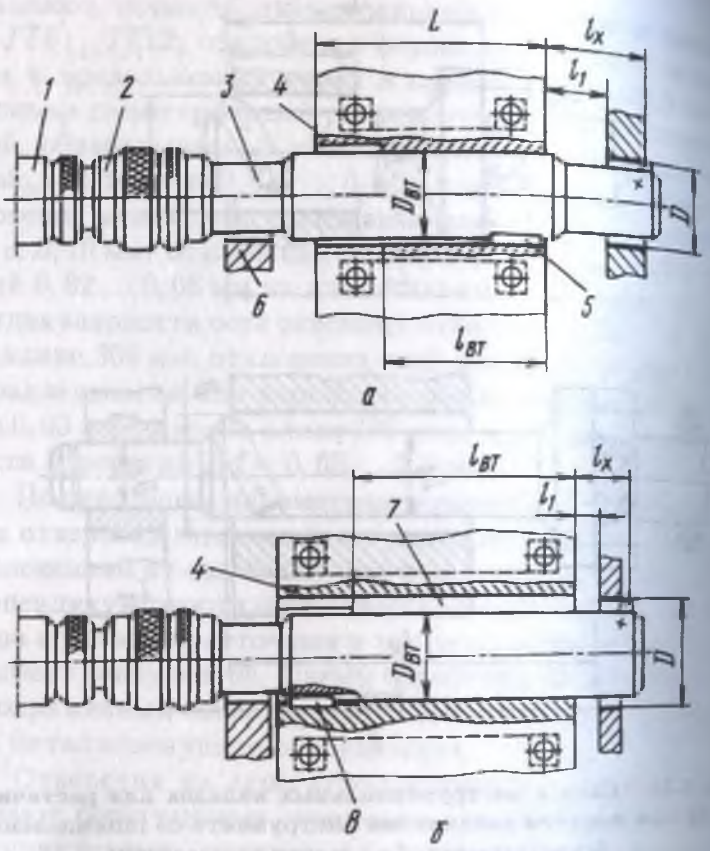


Рис. 5.26. Схемы инструментальных наладок с одноопорным (передним) направлением борштанги по вращающейся втулке при $D_{вт} > D$ (*а*) и $D_{вт} < D$ (*б*):

1 – шпиндель; *2* – плавающий патрон; *3* – борштанга; *4* – направляющая втулка; *5, 8* – шпонки; *6* – люнет; *7* – паз для прохода резца

Первый способ применяют только для жесткого соединения борштанги со шпинделем станка, остальные – для борштанг с плавающим соединением инструмента со шпинделем.

Борштанги конструктивно могут быть выполнены цельными – тело вращения, представляющее собой монолит; сборными с механизмом автоматического подво-

да и отвода резцов в поперечном направлении для обработки отверстий диаметром более 70 мм и сборными типа "скользящая втулка". Растачивание отверстий жестко закрепленной на шпинделе станка борштангой обычно выполняют по консольной схеме без применения дополнительной опоры (см. рис. 5.25, *а*). Для этой схемы характерен относительно большой вылет l_x борштанги от торца шпинделя до режущего лезвия резца, который назовем вылетом режущего инструмента. Он зависит от расстояния L_x от места крепления резца до переднего подшипника шпинделя (см. рис. 5.25, *а*) и диаметра шпинделя $D_ш$ в передней опоре. Устойчивая работа консольно закрепленной борштанги и точность растачиваемых отверстий обеспечиваются при отношении $l_x/D_б \leq 3 \ldots 4$ и $D_б \leq D_ш$, где $D_б$ - диаметр борштанги в зоне резания. Меньшее значение относится к растачиванию отверстий в заготовках из стали, большее – к растачиванию отверстий в заготовках из серого чугуна и сплавов цветных металов.

При обработке отверстий на АЛ и АС диаметр борштанги определяют по формуле

$$D_б = kD - 2z_{i\,max},$$

где k - коэффициент, учитывающий материал обрабатываемой заготовки и вид обработки (черновая, получистовая, чистовая), $k = 0,82 \ldots 0,92$; D – диаметр растачиваемого отверстия; $z_{i\,max}$ – максимальный припуск на радиус отверстия, равный $3 \ldots 10$ мм для черновой обработки, $1 \ldots 2$ мм для получистовой и $\leq 0,5$ мм для чистовой обработки.

При необходимости иметь больший вылет инструмента, т.е. при $l_x \geq (3 \ldots 4)\ D_б$, рекомендуют растачивание жестко закрепленной борштангой, имеющей дополнительное направление во втулке (см. рис. 5.25, *б*). Для такой схемы инструментальной наладки предъявляют весьма высокие требования к соосности осей шпинделя и направляющей втулки. Предельно допустимое расстояние l_{max} от торца шпинделя до торца направляющей втулки (см. рис. 5.25, *б*) составляет $(7 \ldots 12,5)\ D_б$, где

$D_б = 30 \ldots 100$ мм для чистового растачивания заготовок из чугуна, $(8,6 \ldots 15,0)\, D_б$ – для заготовок из стали и $(10 \ldots 17,5)\, D_б$ – для заготовок из алюминиевых сплавов. При растачивании двумя или тремя резцами l_{max} умножают на коэффициент 0,8, при растачивании четырьмя и шестью резцами – на коэффициент 0,7, а в случае чернового растачивания l_{max} умножают на 0,7.

При еще больших вылетах инструмента ($l_x/D_б \gg \frac{1}{4}$) эта схема не обеспечивает необходимой жесткости технологической системы, а в случае многошпиндельной обработки возникают проблемы с обеспечением соосности осей жестко закрепленных борштанг и направляющих втулок. Тогда прибегают к плавающему соединению борштанга - шпиндель и использованию специальных узлов направления инструмента. На позициях АЛ по обработке отверстий, имеющих плавающее соединение борштанга - шпиндель, можно применять нормализованные коробки и бабки. На таких позициях точность расположения осей обрабатываемых отверстий не зависит от геометрических погрешностей станка, его тепловых деформаций и износа. При направлении инструмента по втулкам устраняют схватывание поверхностей в сопряжении втулка – инструмент при скоростях резания свыше $20 \ldots 25$ м/мин вследствие разделения поверхностей, воспринимающих вращательное движение инструмента и его поступательное перемещение (подачу). Такого разделения поверхностей достигают использованием вращающейся направляющей втулки либо конструкцией вспомогательного инструмента (борштанга типа "скользящая втулка").

При одноопорной схеме с передней направляющей инструмента (см. рис. 5.26, *а*) имеется одна направляющая втулка *4*, которая установлена в корпусе приспособления на подшипниках качения и может вращаться. Вспомогательный инструмент – борштанга *3* – соединен со шпинделем *1* станка плавающим патроном *2*. Такое соединение исключает появление деформаций инструмента и узла направления при значительных отклонения (до 0,2 мм) от со-

сности шпинделя и направляющей втулки. Для исключения влияния радиального биения внутренней поверхности вращающейся втулки *4* на точность обработки на борштанге установлена подпружиненная шпонка *5*, а во втулке имеется шпоночный паз. Люнет *6* необходим для вывода борштанги из направляющей втулки при смене резца и других работах. Такую схему применяют при $D < D_{вт}$.

Для обработки отверстий с малыми межосевыми расстояниями между отверстиями в одной стенке заготовки используют схему, показанную на рис. 5.26, *б*. Здесь во вращающейся втулке *4* имеется паз *7* для прохождения резца, а в борштанге – паз для шпонки *8*, установленной во втулке. Рассмотренные одноопорные схемы направления инструмента во вращающихся втулках применяют для обработки отверстий диаметром $D = 18 \ldots 120$ мм и длиной не более $2D$ при вылете инструмента $l_x < 2,3D$. Такие схемы обеспечивают точность обработки диаметральных отверстий $IT6 \ldots IT12$, позиционные отклонения $\Delta_{см} = 25 \ldots 120$ мкм и $\Delta_{мор} = 25 \ldots 150$ мкм.

Для обработки соосных отверстий в нескольких стенках заготовки, растачивания отверстий в стенках заготовки, находящихся на расстоянии $l_x > 2,3D$, растачивания глубоких отверстий $l_{отв} > 3D$, а также отверстий с большой неравномерностью припуска применяют двухопорную схему направления по двум вращающимся втулкам (рис. 5.27). В схеме, показанной на рис. 5.27, *б*, диаметр отверстия передней втулки меньше диаметра растачиваемого отверстия ($D_{вт1} < D$), поэтому в передней направляющей втулке предусмотрен сквозной паз для прохождения резцов и в борштанге на всей длине ее направляемой части выполнен паз с лопвителем шпонок у переднего торца. Точность обработки диаметральных отверстий $IT6 \ldots IT12$, отклонение от соосности осей отверстий относительно общей оси 20 ... 80 мкм, отклонение межосевого расстояния отверстий 30 ... 120 мкм.

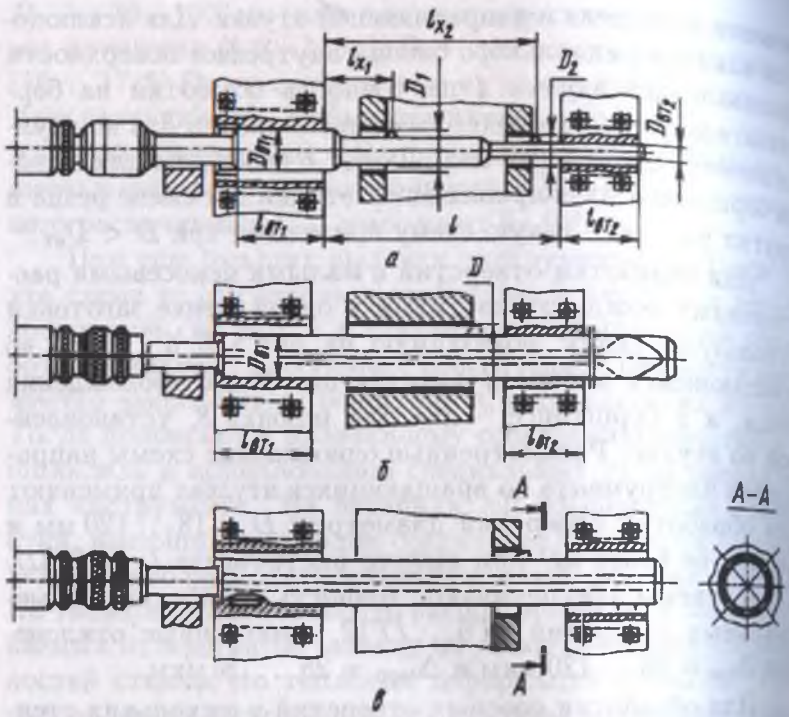


Рис. 5.27. Схемы инструментальных наладок при плавающем соединении с двухопорным направлением борштанги: *а, б* – по двум вращающимся втулкам при $D_{вт} \geq D$ и $D_{вт} < D$ соответственно; *в* - по двум вращающимся втулкам, одна из которых многопазовая

Обработку ряда соосных отверстий (трех и более) с малыми отклонениями расположения, формы и размеров, например отверстий под коленчатый и распределительный валы и в заготовках блоков цилиндров автомобильных двигателей, отверстий под рабочий вал в заготовках корпусов многоступенчатых центробежных насосов и других, ведут с использованием трех и более опор типа "вращающаяся втулка" (рис. 5.28). Чтобы обеспечить одновременную параллельную обработку системы отверстий,

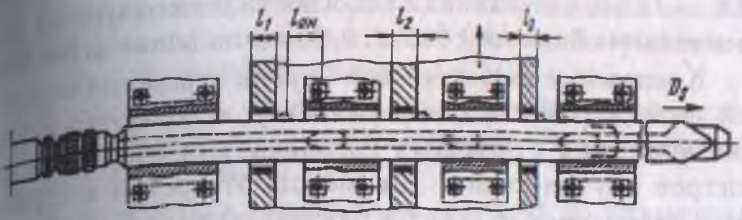


Рис. 5.28. **Схема инструментальной наладки при плавающем соединении с многоопорным направлением борштанги**

борштангу вводят в заготовку без вращения в определенном угловом положении для прохода резцов через пазы направляющих втулок и отверстия заготовки. Заготовку для этого сдвигают в поперечном направлении (показано стрелкой на рис. 5.28), перпендикулярном оси борштанги, на расстояние, достаточное для прохода резцов через отверстия, а затем возвращают в исходное положение и закрепляют. По окончании обработки борштангу вновь фиксируют в определенном угловом положении для вывода, а заготовку сдвигают в поперечном направлении для исключения рисок на обработанных поверхностях при быстром обратном ходе инструмента с резцами.

При использовании таких схем обработки отклонение от соосности промежуточных опор относительно крайних должно быть очень мало. В противном случае применение промежуточных опор (узлов направления) может привести к увеличению отклонений от соосности обрабатываемых отверстий из-за деформаций борштанги.

Часто в одной позиции АЛ предусматривают предварительное и окончательное растачивание системы соосных отверстий. В таких случаях необходимо обеспечить условие $l_{вн} > l_1\ (l_2)$ для разделения различных этапов обработки и обеспечения точности диаметров, а также условие $l_1 = l_2 = l_3 = \ldots = l_n$ (см. рис. 5.28). Точность обработки диаметральных размеров системы соосных отверстий при такой схеме направления борштанги составляет

$IT6 \ldots IT10$, а отклонения от соосности осей отверстий относительно общей оси $0,015 \ldots 0,05$ мм на длине до 600 мм.

Крепежные отверстия – это группа отверстий корпусной детали (гладких или резьбовых), используемых для присоединения и связанных координатами положения их центров внутри группы. Диаметры отверстий в группе чаще одинаковые, но могут и различаться (от 6 до 50 мм), глубина отверстий преимущественно одинаковая. При изготовлении корпусных деталей на АЛ и поточных линиях из АС технологические переходы обработки крепежных отверстий составляют до 70 % от общего числа переходов. Поэтому наиболее распространенными инструментами на АЛ являются сверла. Обработка крепежных отверстий на АЛ имеет следующие особенности:

1) метод обработки и режимы резания зависят от цикла работы линии $t_{\text{ц}} = t_0 + t_{\text{в}}$, где t_0 – основное время; $t_{\text{в}}$ – вспомогательное время;

2) работа в автоматическом режиме может быть нарушена вследствие плохого отвода стружки из обрабатываемых отверстий, особенно при вертикальном и наклонном расположении осей глухих отверстий;

3) несвоевременный выход из строя инструментов (их поломка, катастрофический износ и т.п.) требует оснащения АЛ специальными автоматами, сигнализирующими о наличии отверстий в обрабатываемой заготовке, т.е. возникает необходимость дополнительных позиций в АЛ;

4) инструментальные наладки часто имеют режущий и вспомогательный инструмент специфической конструкции.

К крепежным отверстиям предъявляют ряд требований по их технологичности:

1) межосевое расстояние между отверстиями должно быть не менее минимально допустимого, т.е. $A \geq A_{\min}$ (для заготовок из чугуна $A_{\min} = (4,75 \ldots 2,78)d$, из стали $A_{\min} = (6,9 \ldots 4,8)d$, а из алюминиевых сплавов $A_{\min} = (6,2 \ldots 4,8)\,d$, где d – диаметр отверстия);

2) длина отверстий l должна быть минимально возможной (для заготовок из стали $l \leq 3d$, а для заготовок из чугуна и алюминиевых сплавов $l \leq 5d$);

3) отклонения от перпендикулярности торцев отверстия на входе и выходе относительно оси инструмента должны быть не более 10°;

4) обязательна унификация отверстий по диаметрам, фаскам и другим элементам, так как это сокращает номенклатуру режущего и вспомогательного инструмента, приспособлений для настройки и смены инструмента, причем предпочтение следует отдать сквозным отверстиям.

В большинстве случаев на АЛ и АС сверление отверстий выполняют с направлением сверл по кондукторным втулкам. Спиральное сверло *4* (рис. 5.29) с коническим хвостовиком устанавливают в удлинитель *3*, который помещают в отверстие шпинделя *2* и крепят двумя винтами *8* с упором в наклонный скос. Сверло направляется сменной втулкой *9*, установленной в постоянной втулке *10* кондукторной плиты *11*. Крутящий момент от шпинделя передается удлинителю шпонкой *1*. Гайка *7* предназначена для регулировки вылета $L_н$ сверла (после его перетачивания) относительно торца шпинделя.

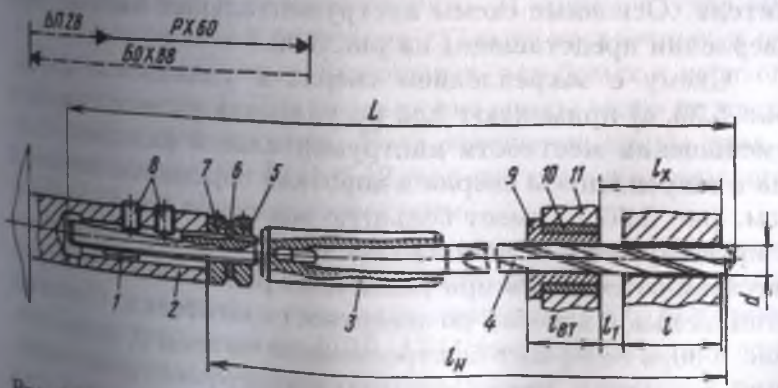


Рис. 5.29. Инструментальная наладка сверлильной позиции АЛ или АС

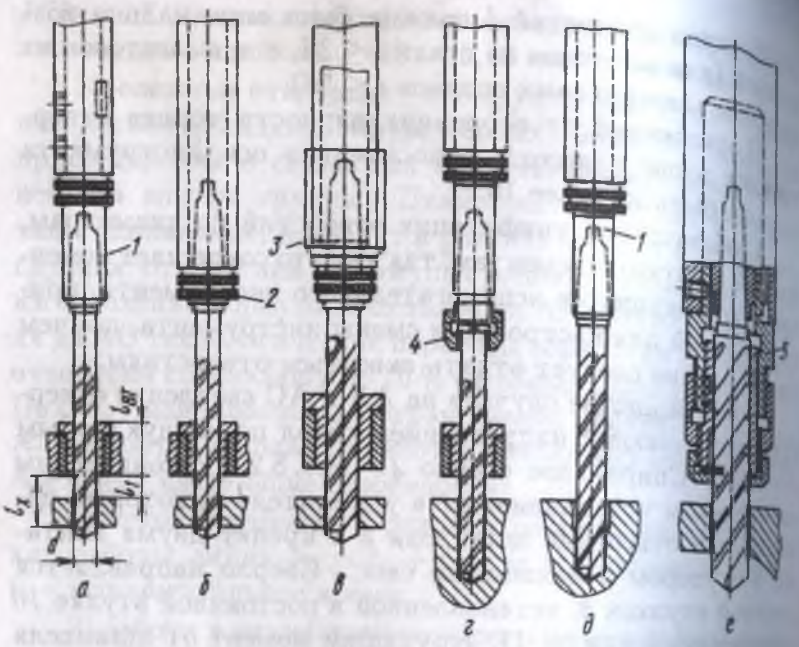


Рис. 5.30. Схемы инструментальных наладок при сверлении

Гайку 7 контрят гайкой 5 через замковую шайбу 6, выступ которой входит в продольный паз хвостовика удлинителя. Основные схемы инструментальных наладок при сверлении представлены на рис. 5.30.

Схему с закреплением сверла в удлинителе 1 (см. рис. 5.30, *а*) применяют для регулировки вылета сверла и уменьшения жесткости инструментальной наладки. Схема с закреплением сверла в короткой переходной втулке 2 (см. рис. 5.30, *б*) имеет бóльшую жесткость по сравнению с предыдущей. Ее применяют как отдельно, так и в сочетании со схемой *а* при различных расстояниях от торца шпиндельной коробки до поверхности заготовки. Схема на рис. 5.30, *в* содержит быстросменный патрон 3, позволяющий сократить время установки инструмента на шпиндель. Схему, приведенную на рис. 5.30, *г*, применяют при сверлении глубоких отверстий. Сверло дополнительно закрепляют в оправке с помощью зажимной гайки 4 и раз-

резного кольца во избежание его выпадения при быстром обратном ходе. Наконец, на рис. 5.30, *д* и *е* даны схемы, которые можно рекомендовать при сверлении предварительно зацентрованных отверстий, рассверливании предварительно просверленного отверстия, сверлении одиночного отверстия диаметром более 40 мм, а также в случае, когда применение кондукторной втулки затруднено. При этом для обработки рекомендуют наладку, в которой сверло устанавливают в специальный патрон *5* и зажимают непосредственно по ленточкам, обеспечивая тем самым минимальный вылет сверла и повышенную жесткость системы инструмент – оправка.

5.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

5.4.1. Ступенчатые валы

Валы предназначены для передачи крутящих моментов и монтажа на них различных деталей и механизмов. Конструктивно ступенчатые валы подразделяют на гладкие, фланцевые и валы-шестерни. В общем случае они представляют собой сочетание гладких посадочных и непосадочных, шлицевых, шпоночных, резьбовых и переходных поверхностей. Для уменьшения массы валов их часто выполняют пустотелыми. Если отношение длины вала к среднему диаметру $L/D \leq 12$, вал считают жестким, при $L/D > 12$ вал является нежестким.

Технические требования, предъявляемые к валам, характеризуются следующими данными. Диаметральные размеры посадочных шеек выполняют по $IT7$, $IT6$, реже по $IT5$, других шеек по $IT10$, $IT11$, допуски на длину ступеней вала назначают в пределах $0,1 \ldots 0,4$ мм.

Допуски формы – отклонения от круглости, цилиндричности и прямолинейности – обычно составляют часть допуска T_i на выполняемый диаметральный размер (для

тел вращения, например, до $0,3T_i$). Допуски расположения – отклонения от параллельности шпоночных канавок или шлицевых поверхностей относительно оси – не превышают 0,1 мкм на 1 мм длины, отклонения от перпендикулярности для опорных заплечиков под подшипники и привалочных фланцевых поверхностей валов выполняют с точностью $< 0,1$ мкм, соосность поверхностей в пределах $0,01 \ldots 0,03$ мм. Неравномерность шага шлицевых поверхностей, их смещение относительно оси должно быть не более 0,02 мм. Допускаемые биения посадочных шеек относительно базовых поверхностей не должны превышать $0,01 \ldots 0,03$ мм, а непосадочных $0,05 \ldots 0,10$ мм. Шероховатость поверхности посадочных шеек $Ra = 0,08 \ldots 0,63$ мкм, непосадочных $Ra = 3,2 \ldots 10$ мкм.

Валы, работающие с высокой частотой вращения, подвергают динамической балансировке, их дисбаланс не должен превышать $12 \ldots 40$ г·мм. Ступенчатые валы изготавливают из сталей 25, 35, 40, 45, 35Х, 40Х, 40ХН, 45ХНМ, 38Х2ЮА, 38Х2МЮА и других, подвергаемых для повышения износостойкости и физико-механических свойств материала различным видам термической обработки. Валы из малоуглеродистой стали 25 цементируют на глубину $0,7 \ldots 1,2$ мм, обеспечивая твердость после закалки и отпуска в пределах $HRC_э$ $55 \ldots 58$. Среднеуглеродистые стали подвергают улучшению, нормализации или поверхностной закалке. Валы из высоколегированных сталей 38Х2ЮА, 38Х2МЮА, работающие при высоких скоростях скольжения, азотируют на глубину $0,3 \ldots 0,4$ мм, обеспечивая твердость HV 1000.

Заготовки для ступенчатых валов в серийном производстве при небольших перепадах диаметров ступеней получают резкой из горячекатаного проката. При значительных перепадах диаметров ступеней заготовки валов изготавливают ковкой на молотах или прессах. В крупносерийном и массовом производствах заготовки ступенчатых валов изготавливают штамповкой из проката,

высадкой на горизонтально-ковочных машинах, обжатием на радиально-ковочных машинах, поперечно-клиновой прокаткой. Эти методы (кроме последнего) обеспечивают коэффициент использования материала $K_{и.м} \approx 0,7$. При поперечно-клиновой прокатке $K_{и.м} = 0,85$ и выше. Типовой ТП изготовления заготовок состоит из следующих операций: отрезания заготовки из проката, нагревания заготовки до температуры ковки, непосредственного формоизменения, удаления заусенцев или облоя, термической обработки, правки заготовки. После пластического деформирования заготовку подвергают термической обработке с целью снятия остаточных напряжений и обеспечения необходимой структуры металла.

Конструкция вала, его размеры и жесткость, технические требования, программа выпуска – основные факторы, определяющие технологию изготовления и применяемое оборудование.

При обработке заготовок валов в качестве технологических баз используют центровые отверстия, которые позволяют обрабатывать почти все наружные поверхности вала на единых базах с установкой в центрах.

Жесткие требования на линейные размеры обеспечивают применением плавающего переднего центра и базированием заготовки по торцу, от которого выдерживают размеры при токарной обработке и шлифовании заплечиков. Это исключает влияние погрешности зацентровки вала на точность линейных размеров.

Маршрут обработки заготовок в центрах включает обычно следующие операции: создание базовых поверхностей; черновое обтачивание; чистовое обтачивание; черновое шлифование шеек; фрезерование шлицев; фрезерование шпоночных пазов; сверление отверстий; нарезание резьб; термическая обработка; зачистка центров; шлифование шлицев; окончательное шлифование шеек; микрофинишпирование шеек вала; контроль размеров. Для обеспечения заданной точности в маршруте неоходимо соблюдать принцип постоянства баз при обработке практиче-

тел вращения, например, до $0,3T_i$). Допуски расположения – отклонения от параллельности шпоночных канавок или шлицевых поверхностей относительно оси – не превышают 0,1 мкм на 1 мм длины, отклонения от перпендикулярности для опорных заплечиков под подшипники и привалочных фланцевых поверхностей валов выполняют с точностью $< 0,1$ мкм, соосность поверхностей в пределах $0,01 \ldots 0,03$ мм. Неравномерность шага шлицевых поверхностей, их смещение относительно оси должно быть не более 0,02 мм. Допускаемые биения посадочных шеек относительно базовых поверхностей не должны превышать $0,01 \ldots 0,03$ мм, а непосадочных $0,05 \ldots 0,10$ мм. Шероховатость поверхности посадочных шеек $Ra = 0,08 \ldots 0,63$ мкм, непосадочных $Ra = 3,2 \ldots 10$ мкм.

Валы, работающие с высокой частотой вращения, подвергают динамической балансировке, их дисбаланс не должен превышать $12 \ldots 40$ г·мм. Ступенчатые валы изготавливают из сталей 25, 35, 40, 45, 35Х, 40Х, 40ХН, 45ХНМ, 38Х2ЮА, 38Х2МЮА и других, подвергаемых для повышения износостойкости и физико-механических свойств материала различным видам термической обработки. Валы из малоуглеродистой стали 25 цементируют на глубину $0,7 \ldots 1,2$ мм, обеспечивая твердость после закалки и отпуска в пределах $HRC_э$ $55 \ldots 58$. Среднеуглеродистые стали подвергают улучшению, нормализации или поверхностной закалке. Валы из высоколегированных сталей 38Х2ЮА, 38Х2МЮА, работающие при высоких скоростях скольжения, азотируют на глубину $0,3 \ldots 0,4$ мм, обеспечивая твердость HV 1000.

Заготовки для ступенчатых валов в серийном производстве при небольших перепадах диаметров ступеней получают резкой из горячекатаного проката. При значительных перепадах диаметров ступеней заготовки валов изготавливают ковкой на молотах или прессах. В крупносерийном и массовом производствах заготовки ступенчатых валов изготавливают штамповкой из проката.

высадкой на горизонтально-ковочных машинах, обжатием на радиально-ковочных машинах, поперечно-клиновой прокаткой. Эти методы (кроме последнего) обеспечивают коэффициент использования материала $K_{и.м} \approx 0,7$. При поперечно-клиновой прокатке $K_{и.м} = 0,85$ и выше. Типовой ТП изготовления заготовок состоит из следующих операций: отрезания заготовки из проката, нагревания заготовки до температуры ковки, непосредственного формоизменения, удаления заусенцев или облоя, термической обработки, правки заготовки. После пластического деформирования заготовку подвергают термической обработке с целью снятия остаточных напряжений и обеспечения необходимой структуры металла.

Конструкция вала, его размеры и жесткость, технические требования, программа выпуска – основные факторы, определяющие технологию изготовления и применяемое оборудование.

При обработке заготовок валов в качестве технологических баз используют центровые отверстия, которые позволяют обрабатывать почти все наружные поверхности вала на единых базах с установкой в центрах.

Жесткие требования на линейные размеры обеспечивают применением плавающего переднего центра и базированием заготовки по торцу, от которого выдерживают размеры при токарной обработке и шлифовании заплечиков. Это исключает влияние погрешности зацентровки вала на точность линейных размеров.

Маршрут обработки заготовок в центрах включает обычно следующие операции: создание базовых поверхностей; черновое обтачивание; чистовое обтачивание; черновое шлифование шеек; фрезерование шлицев; фрезерование шпоночных пазов; сверление отверстий; нарезание резьб; термическая обработка; зачистка центров; шлифование шлицев; окончательное шлифование шеек; микрофинишрование шеек вала; контроль размеров. Для обеспечения заданной точности в маршруте неоходимо соблюдать принцип постоянства баз при обработке практиче-

ски всех ответственных поверхностей: посадочных шеек, торцевых заплечиков, боковых поверхностей шпоночных пазов и шлицев, а также обеспечивать соосность шеек и внутренних поверхностей. Точность обработки после каждого перехода повышается, число переходов для каждой элементарной поверхности зависит от точности исходной заготовки и технических требований на деталь.

Обработку заготовок нежестких валов ведут с использованием в схеме установки дополнительных опор: неподвижных и подвижных люнетов. Для применения неподвижного люнета в маршрут изготовления такого вала включают дополнительные операции обработки шейки под люнет (а в ряде случаев и контрольных поясков, используемых при выверке заготовок на станке). Такую шейку выполняют на середине заготовки, а неподвижный люнет устанавливают на станине станка. Подвижный люнет располагают на суппорте токарного станка, выполняющем подачу: при этом опорные ролики люнета контактируют с обрабатываемой поверхностью. Кроме того, если допускают технические требования, маршрут изготовления нежестких валов дополняют операциями правки. На стадии выполнения операций обработки стараются уменьшить силы резания, уменьшая глубину резания и подачу инструмента, а также изменяя у резцов главный угол в плане.

Ступенчатые валы изготавливают различными сериями, используя для этого разные структурные схемы операций и оборудование, однако общая последовательность операций остается одинаковой для любого типа производства.

В серийном производстве при отсутствии специального оборудования базовые поверхности валов обрабатывают на токарном станке за два установа. Заготовку закрепляют в патроне, подрезают торец, центровым сверлом обрабатывают отверстия. После перезакрепления переход повторяют. Смена баз и перезакрепление заготовки приводят к погрешности расположения осей центровых

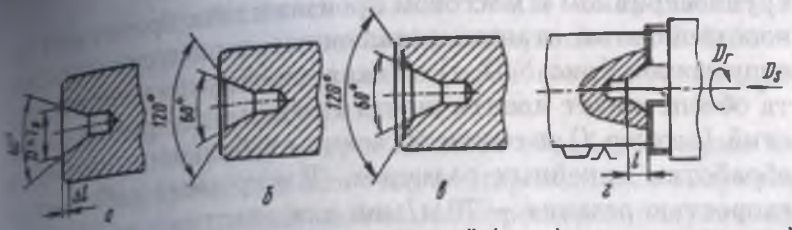


Рис. 5.31. **Виды центровых отверстий (*а* – *в*) и торцеподрезной инструмент для обработки центрового отверстия (*г*)**

отверстий относительно оси, из-за которой в процессе обработки заготовка будет базироваться по кромкам конических поверхностей, вызывая их смятие и погрешности формы. Создание базовых поверхностей таким способом характерно для заготовок валов, осей, торсионов и требует с целью повышения точности обработки введения в процесс дополнительных операций правки и восстановления базовых поверхностей. Центровые отверстия по большому диаметру D конуса (рис. 5.31, *а*, *в*) обрабатывают с допуском $T_D = 0,2 \ldots 0,5$ мм, что вызывает изменение глубины $\Delta l = \dfrac{T_D}{2 \operatorname{tg} 30^\circ}$ центрового отверстия на $0,17 \ldots 0,43$ мм. Такое изменение глубины при отсутствии опорной торцевой базы приведет к погрешности линейных размеров.

В крупносерийном и массовом производствах для обработки базовых поверхностей применяют фрезерно-центровальные полуавтоматы МР-71, ..., МР-74, автоматы А981 и А982. Для обработки заготовку устанавливают в призмы, в осевом положении базируют по торцевой поверхности, расположенной предпочтительно посредине вала с целью равномерного распределения припуска по торцам. На первой позиции торцевой фрезой обрабатывают торцы, на второй – центровые отверстия. Для обеспечения шероховатости конической поверхности с параметром $Ra = 2,5$ мкм центровому сверлу обеспечивают подачу $0,05 \ldots 0,06$ мм/об. Соосность осей самоцентрирующих призм и шпинделей станка обеспечивает минимальную погрешность зацентровки. В последнее время в

крупносерийном и массовом производствах применяют однопозиционные станки, оснащенные торцеподрезным инструментом (рис. 5.31, *г*). Такая конструкция инструмента обеспечивает идентичность глубины центровых отверстий (размер l) и соответственно стабильность точности обработки линейных размеров. Инструмент работает со скоростью резания ~ 70 м/мин для пластин и ~ 20 м/мин для сверл.

Токарную обработку валов в серийном производстве выполняют на станках с ЧПУ моделей 16К20Ф3, 16К20Т1.02, 1716ПФ30 и других, работающих по полуавтоматическому циклу. Оснащенные 6- и 8-позиционными инструментальными головками с горизонтальной осью поворота или с магазином эти станки применяют для обработки заготовок со сложным ступенчатым и криволинейным профилем, включая нарезание резьб. Наличие в головке нескольких инструментов позволяет вести многопереходную обработку поверхностей, обеспечивая устойчиво квалитет точности $IT10$ и выше. Схема обтачивания вала на станке с ЧПУ приведена на рис. 5.32.

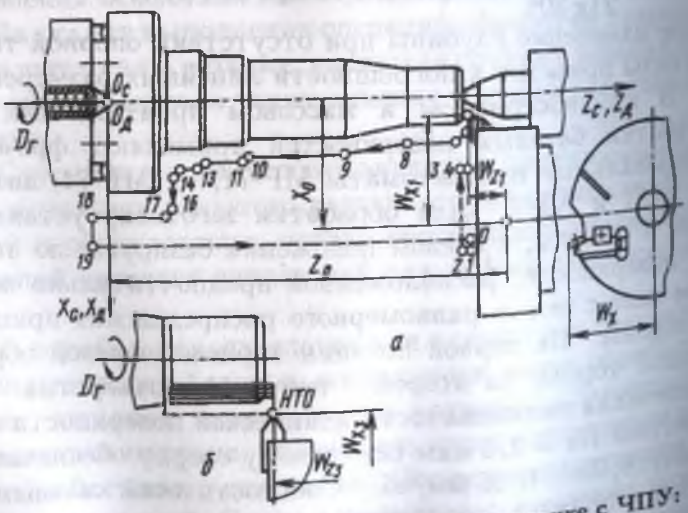


Рис. 5.32. Схема обтачивания вала на станке с ЧПУ:
а – чистовой проход; *б* – нарезание резьбы

Время обработки на станках с ЧПУ по сравнению со станками с ручным управлением сокращается в 1,5...2 раза за счет сокращения вспомогательного времени и интенсификации режимов резания.

В крупносерийном производстве обработку валов ведут на многорезцовых или гидрокопировальных полуавтоматах. Точность обработки на многорезцовом полуавтомате в значительной степени зависит от положения резцов в наладке. Неодновременное начало и окончание их работы вызывает изменение отжатий технологической системы, что приводит к возникновению погрешности формы обрабатываемых поверхностей. В общем случае точность обработки достигает $IT10$, $IT11$, а точность линейных размеров, их стабильность выше, чем на обычных станках. Более эффективно многорезцовые полуавтоматы применяют при тонком обтачивании, обеспечивая точность $IT9$. Время наладки и подналадки гидрокопировальных станков в 2...3 раза меньше времени наладки многорезцовых станков и составляет в среднем 30 мин. Точность обработки на гидрокопировальных станках соответствует $IT10$.

В последнее время с целью расширения технологических возможностей гидрокопировальных полуавтоматов их выпускают с многоинструментальными головками, устанавливают дополнительные каретки. На рис. 5.33 представлена схема обработки на гидрокопировальном многорезцовом полуавтомате. Заготовку устанавливают на центры, используя плавающий передний центр, координацию линейных размеров ведут от упора в левую торцевую поверхность. Поверхности вала обрабатываются резцом *1*, им же обтачивается хвостовик. Резцом *2* обтачивается поверхность под шлицы, резцом *4* подрезается торец, а резцом *3* – канавка под стопорное кольцо. Иногда для подрезки торцев используют несколько резцов, расположенных в разных плоскостях.

В массовом производстве обработку валов ведут на автоматических линиях, скомпонованных из фрезерно-центровального и нескольких гидрокопировальных стан-

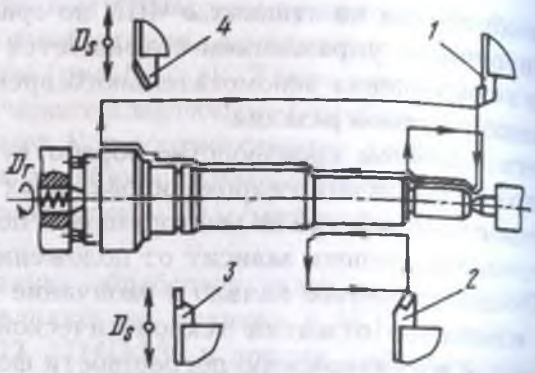


Рис. 5.33. Схема обработки ступенчатого вала на гидрокопировальном полуавтомате

ков с автоматической загрузкой и транспортировкой заготовок роботами портальной конструкции.

Точность обработки обеспечивают проведением при проектировании операции необходимых точностных расчетов, назначением на их основе режимов резания, а также использованием адаптивных систем управления. На станках с ЧПУ точность формы повышают путем предыскажения траектории движения инструмента.

Обработку шлицевых поверхностей валов ведут на шлицефрезерных станках червячными шлицевыми фрезами при установке заготовок в центрах. Если шлицевая поверхность предусматривает центрирование по наружнему диаметру, то обработку выполняют фрезами, имеющими у основания зубьев фланк для обработки фасок на вершинах шлицев. При центрировании вала по внутреннему диаметру шлицы обрабатывают фрезами с усиками для одновременного прорезания канавок во впадинах, чтобы облегчить процесс шлифования шлицев. Если центрирование соединения ведут по внутреннему диаметру и боковым поверхностям одновременно, то профиль зубьев фрезы имеет более сложную форму. Канавки во впадинах иногда обрабатывают дисковыми фрезами отдельно. Припуск на шлифование шлицев после термической обра-

ботки предусматривают до 0,1 мм на сторону. Шероховатость после фрезерования составляет по боковой поверхности $Ra = 10$ мкм, по дну впадины $Ra = 5$ мкм; точность обработки $IT9$, $IT10$. Шлифованием шлицевых поверхностей точность обработки повышают до $IT8$, $IT9$, погрешность шага до 0,01 мм, а шероховатость поверхности снижают до $Ra = 0,63$ по дну и $Ra = 1,25$ мкм по боковой поверхности.

Шлицевые поверхности с эвольвентным профилем нарезают фрезами с прямолинейным профилем зуба.

Фрезерование открытых шпоночных пазов выполняют дисковыми срезами на шпоночно-фрезерных станках. Закрытые шпоночные пазы (рис. 5.34) обрабатывают шпоночными, концевыми или сверлопазовыми фрезами. Для облегчения работы шпоночных и концевых фрез вначале сверлят отверстие на полную глубину паза сверлом меньшего диаметра, чем ширина паза. Затем осевой подачей вводят фрезу и обрабатывают паз.

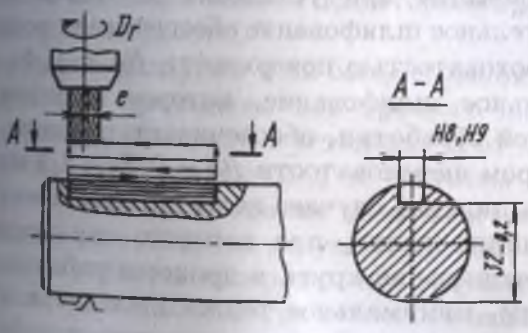


Рис. 5.34. Схема обработки закрытого шпоночного паза

В серийном производстве обработку таких пазов ведут методом "маятниковой подачи", используя шпоночные фрезы (см. рис. 5.34). В результате на боковых поверхностях пазов появляются продольные риски. Для обеспечения натяга в соединении паз калибруют зачистным прохо-

дом, который выполняют с применением патрона, регулирующего эксцентриситет фрезы. Точность ширины паза достигает $IT8$, $IT9$ при шероховатости боковой поверхности $Ra = 5$ мкм. Смазочные отверстия различного назначения в зависимости от конструкции вала обрабатывают на сверлильных станках с вертикальной или горизонтальной осью расположения шпинделя.

Нарезание резьб на валах в массовом производстве производят инструментами из твердого сплава на автоматах и станках с ЧПУ, работающих по автоматическому циклу. Точность обработки резьбы соответствует полю допуска 6h. Перед резьбонарезанием шейки валов шлифуют с точностью до $IT7$. Менее ответственные резьбы на валах изготавливают резьбофрезерованием. В серийном производстве резьбы нарезают на токарно-винторезных станках обычным способом, а также на станках с ЧПУ.

Посадочные шейки валов шлифуют дважды: предварительно и окончательно методом продольного или врезного шлифования при установке заготовок в центрах. Предварительное шлифование обеспечивает точность $IT8$, $IT9$ с шероховатостью поверхности $Ra = 0,4 \ldots 6,3$ мкм. Окончательное шлифование, которое выполняют после термической обработки, обеспечивает точность $IT6$, $IT7$ с параметром шероховатости $Ra = 0,2 \ldots 3,2$ мкм.

В большинстве случаев валы шлифуют методом продольного шлифования, для которого характерно равномерное изнашивание круга в процессе работы, его самозатачивание, минимальное тепловыделение и лучшее качество поверхности. Для совмещенного шлифования характерна одновременная обработка всей шлифуемой поверхности широким кругом (рис. 5.35). В этом случае возможна и обработка торцевых заплечиков. Обработка вала совмещенным шлифованием ведется по автоматическому циклу, обеспечивая высокую производительность.

Точность формы шлифованных поверхностей определяется в значительной степени состоянием базовых поверхностей, поэтому перед окончательным шлифованием

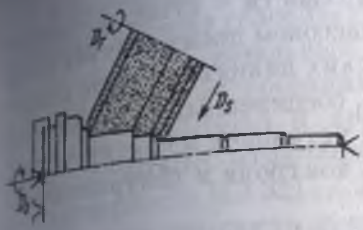


Рис. 5.35. Схема обработки широким шлифовальным кругом

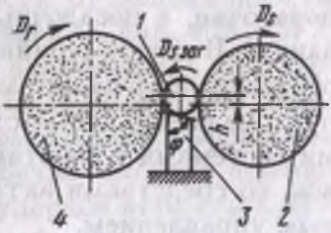


Рис. 5.36. Схема бесцентрового круглого шлифования

их исправляют конусными абразивными кругами на специальных станках.

В отдельных случаях при обработке высокоточных валов применяют тонкое шлифование, когда речь идет о шероховатости поверхности $Ra = 0,025 \ldots 0,1$ мкм, при этом снимаемый слой металла находится в пределах $0,05 \ldots 0,1$ мм. Эту операцию выполняют на высокоточных станках с предварительной подготовкой круга, станка и охлаждающей жидкости.

Шейки валов шлифуют и на бесцентрошлифовальных станках методом проходного или врезного шлифования. Обрабатываемую заготовку *1* устанавливают на опорный нож *3* между шлифовальным *4* и ведущим *2* кругами (рис. 5.36). Вращение заготовки происходит за счет сил трения между заготовкой и ведущим кругом, а продольная подача достигается поворотом оси ведущего круга на определенный угол. Жесткость технологической системы бесцентрово-шлифовальных станков в $1,5 \ldots 2$ раза выше жесткости круглошлифовальных станков. Это позволяет вести обработку со скоростью резания до 60 м/с. Точность обработки соответствует $IT5$, $IT6$. Бесцентровым шлифованием обрабатывают гладкие валы или валы, имеющие небольшие перепады ступеней с ограниченными размерами.

После шлифования валов острые кромки на поверхностях притупляют, переходные поверхности подвергают

доработке, а посадочные поверхности – суперфинишированию. В крупносерийном и массовом производствах валы обрабатывают на автоматических линиях, которые компонуют из специальных станков, соединенных транспортными системами с роботами для установки и снятия заготовок, со средствами активного контроля и централизованным управлением.

Технический контроль валов предусматривает контроль всех ответственных размеров и параметров. С этой целью применяют многомерные контрольные стенды и приспособления, оснащенные различными приборами.

5.4.2. Коленчатые валы

Коленчатые валы подразделяют на цельные, составные и сборные. Цельные изготавливают длиной до 5000 мм, составные – из двух секций для крупных судовых двигателей, сборные – для двигателей небольшой мощности (например, мотоциклетные двигатели). Наиболее массовыми в производстве считаются коленчатые валы автотракторных двигателей. Их длина составляет от 400 до 1000 мм. Являясь конструктивно и технологически сложной деталью, коленчатый вал считается одной из самых ответственных деталей двигателя. Все это обуславливает высокие требования к точности изготовления коленчатых валов: точность диаметральных размеров коренных и шатунных шеек $IT6$ (реже $IT5$); допуски формы коренных и шатунных шеек не более 0,3 от допуска на диаметр этих шеек; отклонения от соосности расположения коренных шеек не более 0,02 мм, от параллельности осей коренных и шатунных шеек не более 0,015 мм на длине шейки; угол разворота колен в пределах $\pm 30'$; биение коренных шеек относительно оси центровых отверстий в пределах $0,01 \ldots 0,03$ мм; шероховатость поверхности коренных и шатунных шеек $Ra = 0,08 \ldots 0,32$ мкм; дисбаланс коленчатых валов в пределах $15 \ldots 40$ г·мм; твердость коренных и шатунных шеек $HRC_э$ $58 \ldots 62$ при глубине $3 \ldots 5$ мм.

Коленчатые валы в зависимости от напряженности изготавливают из углеродистых сталей 45, 45А, 40Х, 45Г2, 50Г и др. Для дизельных более нагруженных двигателей применяют легированные стали 18ХНМА, 40ХНМА, 42ХМФА, 18Х2Н4ВА и др. Хромоникелевольфрамовая сталь 18Х2Н4ВА отличается особенно высокой прочностью (твердость НВ 321...381) и ударной вязкостью. Поверхностную твердость и износостойкость углеродистых сталей повышают термической обработкой с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Твердость и усталостную прочность поверхностного слоя валов из высоколегированных сталей 40ХМА, 18Х2Н4ВА обеспечивают азотированием.

В качестве материала для коленчатых валов применяют и высокопрочный чугун с шаровидной формой графита. Такие чугуны содержат 0,2...0,25 % Cr, 1,15...1,4 % Mn, не более 0,002...0,14 % S, а также незначительное количество церия и других легирующих элементов. Механические свойства таких чугунов близки к свойствам высококремнистой стали. Материал имеет высокие эксплуатационные качества и хорошо обрабатывается режущим инструментом. Применяют также и серые чугуны, модифицированные сплавом ферроцерия с магнием.

В качестве заготовок коленчатых валов автотракторных двигателей используют штамповки, изготовленные на автоматических линиях. Так, заготовку для двигателя КАМАЗ получают из горячекатаной труднообрабатываемой стали 42ХМФА, легированной ванадием. На АЛ проводят индукционный нагрев, предварительное формоизменение заготовки вальцеванием, штамповку на кривошипном горячештамповочном прессе, обрезание облоя и выкрутку колен на гидравлическом прессе, правку заготовки, термическую обработку с контролем твердости поковок, удаление окалины с заготовки. Применяемые на заводах ТП изготовления заготовок обеспечивают высокие точностные параметры. Более крупные заготовки, например для тепловозных двигателей, изготавливают мето-

дом "гибки с высадкой", сущность которого заключается в следующем. Исходную заготовку – слиток – нагревают в газопламенной печи и на мощном прессе подвергают протяжке, в результате которой получают длинную круглую заготовку. Эту заготовку обтачивают по наружному диаметру в механическом цехе с целью удаления дефектов поверхности после ковки. Для последующего формоизменения участок заготовки под одно колено нагревают токами промышленной частоты и подают под пресс, где в штампе сначала высадкой, а затем гибкой формообразуют колено. Так последовательно получают каждое колено. Это позволяет, используя менее мощное оборудование, получить качественную заготовку со значительно меньшими припусками и благоприятным расположением волокон. Заготовки крупных судовых двигателей изготавливают в серийном производстве методом свободной ковки универсальными инструментами; $K_{и.м}$ в этом случае составляет $0,2 \ldots 0,25$.

Заготовки литых валов получают литьем в песчаные или оболочковые формы. Литье в оболочковые формы обеспечивает квалитет точности $IT12 \ldots IT14$ с припусками на обработку $1,5 \ldots 3$ мм. Это позволяет отдельные поверхности оставлять черными и начинать обработку шеек шлифованием. Из-за высокой износоустойчивости чугуна шейки валов иногда не подвергают термической обработке.

Коленчатые валы автомобильных и тракторных двигателей изготавливают в крупносерийном и массовом производствах на поточных или автоматических линиях по типовым ТП. В качестве баз для обработки коренных шеек и других поверхностей принимают центровые отверстия, на которых выполняют черновую, чистовую и отделочную обработки, сохраняя принцип постоянства баз. Соответственно шатунные шейки обрабатывают при базировании по коренным шейкам, что обеспечивает их параллельность и точность радиуса кривошипа. Угловыми базами служат обработанные площадки на противовесах

ими поверхностях кривошипов. В качестве базы по длине используют поверхности щек средней коренной шейки. В серийном производстве при изготовлении коленчатых валов специальных ответственных двигателей ТП отрабатывают особенно тщательно. Они состоят из 40, 60 и более операций. Отдельные поверхности подвергают 3- или 4-кратному шлифованию.

Рассмотрим особенности обработки заготовки коленчатого вала для V-образного 12-цилиндрового двигателя, имеющего 6 шатунных и 7 коренных опор. В качестве заготовки использована штамповка, изготовленная на кривошипном горячештамповочном прессе. Материал заготовки 18ХНВА. Укрупненно процесс можно разделить на четыре этапа.

1. Черновая обработка, которая заключается в удалении больших объемов материала (обработка концов вала, центровых отверстий, обтачивание коренных шеек за два установа, шлифование четвертой коренной шейки под люнет, обтачивание шатунных шеек), шлифовании коренных шеек, обработке центрального отверстия в коренных шейках и отверстий в шатунных шейках. Этап заканчивается закалкой и высоким отпуском.

2. Восстановление баз – центровых фасок, шлифование пятой коренной шейки под люнет, обработка концов вала, коренных и шатунных шеек, шлифование шеек, обработка контуров щек, их скосов, шлифование торцев щек, окончательная обработка центрального отверстия и отверстий в шатунных шейках, обработка смазочных отверстий и старение.

3. Восстановление баз, шлифование коренных и шатунных шеек, азотирование.

4. Восстановление баз, полирование торцев щек их контуров, двухкратное шлифование коренных и однократное шлифование шатунных шеек, полирование центрального отверстия и отверстий в шатунных шейках, балансировка детали.

После изготовления деталей выполняют контроль их размеров.

При обработке заготовок коленчатых валов структура построения операций и применяемое оборудование зависят от объема выпуска. При этом в любом процессе особое внимание уделяется состоянию базовых поверхностей и выполнению отделочных операций для формирования высокой точности обработки.

Для снижения деформаций при обработке заготовок нежестких коленчатых, распределительных и других валов применяют кроме люнетов специальные станки с центральным или двухсторонним приводом.

В массовом и крупносерийном производствах обработку базовых поверхностей заготовок коленчатых валов выполняют специальным инструментом (см. рис. 5.31, *г*) на торцеподрезных центровальных станках. В основу конструкции станка положен торцеподрезной полуавтомат и балансировочная машина. Обработку выполняют после нахождения оси, относительно которой заготовка наиболее уравновешена. Базирование заготовки осуществляют по крайним коренным шейкам.

Коренные шейки обрабатывают на специальных многорезцовых станках с центральным или двухсторонним приводом в центрах. Обработку шатунных шеек ведут на специальных токарных станках, основное кинематическое движение в которых задается с помощью двух эталонных коленчатых валов (рис. 5.37). Заготовка *1* вращается синхронно с эталонами *3* относительно коренных шеек. Кулисы суппорта *2* с инструментами *4*, совершая плоскопараллельное движение, перемещаются вместе с обрабатываемыми шейками. Благодаря этому сохраняется неизменной кинематика резания.

При обработке заготовок более крупных валов, например для тепловозных двигателей, такие станки не применяют из-за больших вращающихся масс. Обработку шатунных шеек в этом случае ведут на токарно-дисковых станках последовательно, одну за другой (рис. 5.38). В

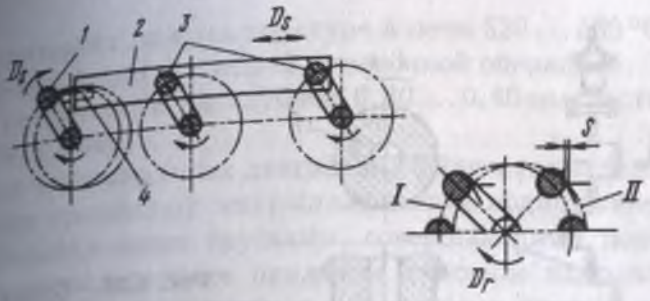


Рис. 5.37. Схема обтачивания шатунных шеек коленчатого вала (*I* – траектория движения центра обрабатываемой шейки; *II* – траектория движения режущей кромки резца)

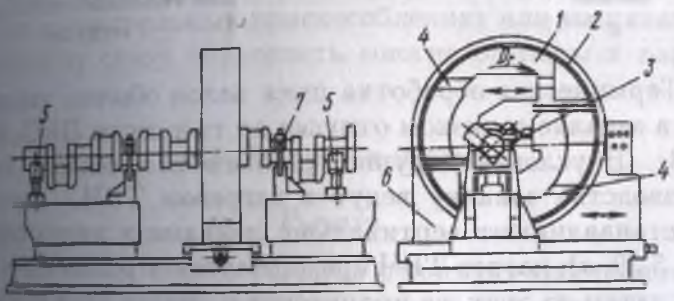


Рис. 5.38. Схема обработки коленчатого вала на токарно-дисковом станке

конструкции станка имеется вращающийся суппорт *1*, который приводится во вращение зубчатым венцом *2* от червячного привода и осуществляет главное рабочее движение инструмента *3*. Радиальное перемещение суппорт совершает по призматическим направляющим *4*.

Перед обработкой заготовку крайними коренными шейками устанавливают в призмы *5*, выверяя по разметке горизонталь. Ось обрабатываемой коренной шейки совмещают с осью вращающегося суппорта поворотом заготовки вала вокруг его оси и поперечным перемещением корпуса *6*. Заготовку по коренным шейкам закрепляют элементами *7*. На таких станках обрабатывают и контуры шек. Точность при чистовой обработке может достигать IT8, IT9 при шероховатости $Ra = 1,25 \ldots 2,5$ мкм.

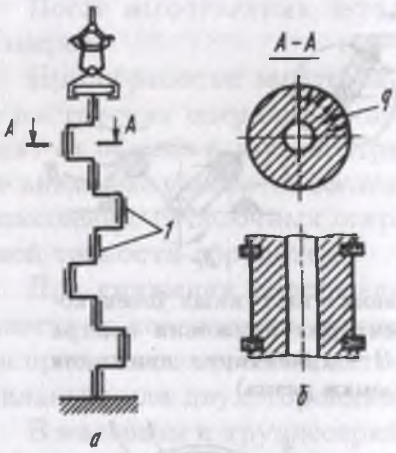


Рис. 5.39. Схема термической обработки с нагревом ТВЧ (*а*) и защитные керамические полукольца (*б*) (*q* – направление теплового потока при отпуске

Термическая обработка шеек валов обычно заключается в закалке и низком отпуске до твердости $HRC_э$ 55... ...58. В условиях крупносерийного и массового типов производства закалку ведут с нагревом ТВЧ. Заготовки устанавливают вертикально шейками в индукторы *1* (рис. 5.39, *а*), нагрев ТВЧ продолжается определенное время, а затем из этих же индукторов подается вода и происходит закалка поверхностного слоя. Длительностью охлаждения регулируют температуру отпуска и соответственно твердость закаливаемой поверхности.

Если переходные поверхности валов – галтели – подвергают поверхностным пластическим деформациям, то в процессе термической обработки их защищают керамическими полукольцами (рис. 5.39, *б*) или обмазывают специальным составом, а затем (после термической обработки) обкатывают роликами.

Для повышения общей усталостной прочности и износостойкости поверхностей шеек коленчатых валов применяют азотирование. Для этого вал устанавливают на выдвижную платформу электрической тоннельной печи, укладывают коренными шейками на графитовые подшипники, сообщают ему медленное вращение для исключения появления деформации в процессе азотирования. Азотиро-

вание проходит при температуре в печи
выполняют перед последней отделочной
лость поверхности на глубине 0,30 . . . 0
HV 1000 и выше.

Для ответственных двигателей в ка
операции применяют микрошлифование
ми шлифовальными брусками, соверша
тельно осциллирующее движение в осе
одновременно всех коренных и шатунны
наружное хонингование брусками с алма
лем.

Контроль коленчатых валов ведут
ментных контрольных приспособлениях и
зволяющих сразу определить многие ра
тры.

520 . . . 530 °C, его
перацией. Твер-
40 мм достигает

ство отделочной
подпружиненны-
щими дополни-
м направлении
шеек, а также
ым наполните-

многоинстру-
и машинах, по-
еры и параме-

5.4.3. Рычаги и шатуны

Рычаги

К деталям класса рычагов относятся
чаги разной формы, тяги, серьги, поводки
лансиры, вилки, прихваты и шатуны.
разновидности рычагов показаны на рис.

Рычаги являются звеньями кинематиче
шин, которые выполняют требуемые пе
лей с необходимой скоростью или фикси
ние относительно других деталей. Детали
имеют два или большее количество основ
оси которых расположены параллельно или
ми углами. Тело рычагов представляет
как правило, некруглого сечения. В дета
са кроме основных отверстий могут бы
шлицевые канавки, крепежные отверстия
бышках.

Технические условия на изготовлени
ность диаметров основных отверстий $IT7$ . . .
$= IT6 \ldots IT8$; отклонения межосевого рас

ственно ры-
ромысла, ба-
структивные
(

ких цепей ма-
щения дета-
г их положе-
ного класса
отверстий,
д различны-
й стержень,
этого клас-
поночные и
орези в бо-

чагов: точ-
9, шатунов
основных

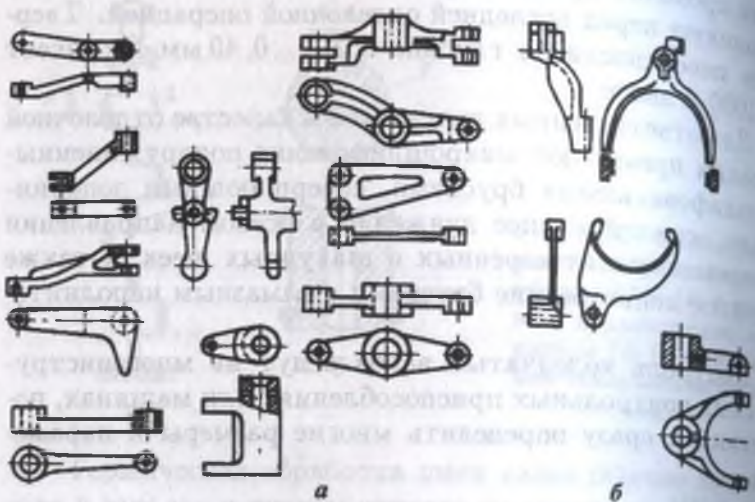


Рис. 5.40. Конструктивные разновидности рычагов:
а – рычаги; *б* – вилки

отверстий $0,05 \ldots 0,2$ мм; точность размера между торцами бобышек по $IT10$, $IT11$; точность ширины шпоночных пазов по $IT9$, $IT10$; отклонение от параллельности осей основных отверстий $0,05 \ldots 0,25$ мм на 100 мм длины; отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей бобышек, головок шатунов относительно оси основных отверстий $0,05 \ldots 0,3$ мм на 100 мм радиуса; отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей лапок вилок относительно оси основных отверстий $0,1 \ldots 0,3$ мм на 100 мм длины; отклонение от соосности наружных поверхностей головок нагруженных рычагов, тяг, серег относительно оси отверстий $0,5 \ldots 1$ мм (из условий прочности); шероховатость поверхностей основных отверстий $Ra = 0,32 \ldots 2,5$ мкм, торцев головок $Ra = 1,25 \ldots 3,2$ мкм.

Рычаги и шатуны изготовляют из конструкционных и легированных сталей 20, 35, 45, 35Х, 40Х, 18ХНМА, 18ГН4ВА, а также серого и ковкого чугуна СЧ10, СЧ15, КЧ37-12 и др. В зависимости от объема выпуска, типа

производства и применяемого материала заготовки получают ковкой, штамповкой или литьем. При изготовлении рычагов ковкой желательны простые формы, образованные плоскими и цилиндрическими поверхностями. При изготовлении заготовок штамповкой выбранная поверхность разъема должна обеспечить легкую выемку заготовки из штампа. Предпочтительна симметричная форма заготовки относительно поверхности разъема и разъем по плоской поверхности (а не по криволинейной). Это облегчает и упрощает изготовление штампов.

Для штамповки используют паровоздушные штамповочные молоты. Чем больше объем выпуска, тем больше оснований использовать высокопроизводительное оборудование: кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины, метод поперечно-винтовой прокатки. Плоские рычаги (типа серег) штампуют из листа соответствующей толщины. Для снятия остаточных напряжений после штамповки и улучшения обрабатываемости после кузнечных операций заготовки рычагов подвергают нормализации. Стальные рычаги и вилки из среднеуглеродистых сталей, работающие при значительных нагрузках, для повышения прочности подвергают термической обработке (закалка и отпуск). Перспективным для изготовления рычагов, вилок является использование метода горячего прессования порошковых материалов, позволяющего получить заготовки практически без пор, с мелкозернистой структурой, что обеспечивает требуемые прочностные свойства изделий. Данный метод почти полностью исключает последующую механическую обработку, а при автоматизации производства деталей из порошков и ручной труд.

При изготовлении заготовок литьем предпочтительнее прямолинейная форма рычага вместо криволинейной. Это упрощает изготовление модели и формы, так как допускает разъем в одной плоскости. Заготовки рычагов получают литьем в песчаные формы. Для образования основных отверстий применяют стержни. Заготовки стальных

рычагов сложной формы и небольших размеров получают литьем в керамические формы по выплавляемым моделям. Для устранения возможного искривления рычаги из стали и ковкого чугуна подвергают правке до и в процессе обработки.

Для повышения точности заготовок применяют плоскостную или объемную калибровку. Плоскостная калибровка (чеканка) обеспечивает получение точности вертикальных размеров на отдельных участках поковок. Ее проводят в холодном состоянии на чеканочных кривошипно-коленных прессах. Поверхности, подвергнутые чеканке, в дальнейшем не обрабатывают вовсе или только шлифуют. Объемная калибровка обеспечивает точность размеров поковки в разных направлениях. Для мелких рычагов калибровку выполняют в холодном состоянии, для крупных – в горячем с нагревом заготовки до определенной температуры. Маршрут обработки заготовок рычагов резанием следующий:

1) последовательная или параллельная обработка торцевых поверхностей основных отверстий (у заготовок, подвергнутых чеканке или полученных точным литьем, эту обработку часто не производят);

2) обработка основных отверстий;

3) обработка шпоночных пазов или шлицевых поверхностей в основных отверстиях;

4) обработка поверхностей стержня рычага, прорезей, пазов;

5) обработка вспомогательных отверстий, нарезание резьбы.

Применяют варианты маршрута, в которых первая и вторая операции меняются местами или объединяются в одну. Например, при обработке на фрезерно-сверлильно-расточном станке в одной операции объединяют несколько видов обработки.

На разных этапах ТП используют различные технологические базы (рис. 5.41). При обработке торцевых поверхностей основных отверстий за базу принимают торцы

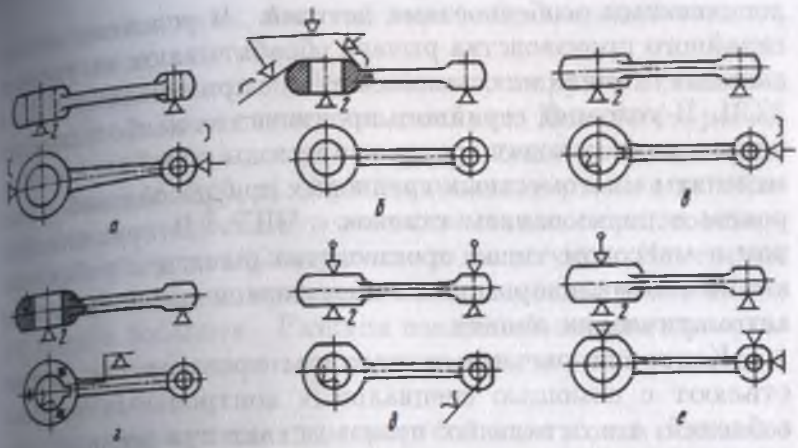


Рис. 5.41. **Схемы базирования рычагов на различных этапах обработки**

и наружные поверхности бобышек (см. рис. 5.41, *а*). При обработке основных отверстий за базу берут обработанные торцы и наружные необработанные поверхности головок, благодаря чему обеспечивают равностенность головок (см. рис. 5.41, *б*). Для обработки шпоночных и шлицевых канавок рычаги базируют по обработанной поверхности одного из основных отверстий и торцев (см. рис. 5.41, *в*). Для угловой ориентации используют либо второе отверстие, либо необработанную поверхность стержня, либо вторую бобышку рычага. При обработке пазов, уступов, технологических лысок, фасонных исполнительных поверхностей, рычагов применяют схемы базирования, показанные на рис. 5.41, *г* – *д*. При обработке отверстий в большой и малой головках шатуна в качестве базы используют обработанные торцы, две технологические лыски на малой головке и одну лыску на большой головке рычага (см. рис. 5.41, *е*). При построении маршрута обработки рычагов должен быть выдержан принцип постоянства базы. В наибольшей степени это возможно при обработке в приспособлениях-спутниках на автоматических линиях.

Выбор оборудования и оснастки определяется объемом выпуска, типом производства, конструктивными и техно-

логическими особенностями деталей. В условиях мелкосерийного производства рычаги обрабатывают на универсальных станках или станках с ЧПУ с применением УНП и УСП. В условиях серийного производства наибольшее использование находят групповые методы обработки с применением многоместных групповых приспособлений с широким использованием станков с ЧПУ. В крупносерийном и массовом типах производства рычаги обрабатывают на специализированных многопозиционных станках и автоматических линиях.

Контроль рычагов в массовом производстве осуществляют с помощью специальных контрольных приспособлений, а в остальных производствах при помощи универсальных измерительных средств: скоб, индикаторов, щупов. Схемы контроля отклонений представлены на рис. 5.42.

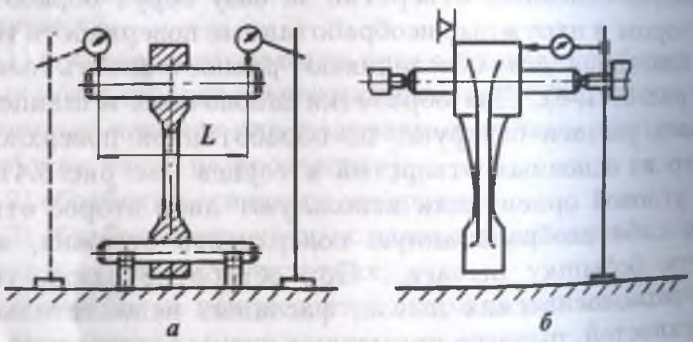


Рис. 5.42. Схемы контроля отклонений от параллельности осей основных отверстий (*а*) и от перпендикулярности торцев бобышек к осям основных отверстий (*б*)

Плоскостность торцевых бобышек проверяют на контрольной плите при помощи щупа. Расстояние между осями отверстий проверяют, вставляя в них гладкие контрольные оправки и измеряя микрометрической скобой расстояние между ними. Зная диаметры оправок, можно найти размер между осями отверстий. Соосность расположения отверстий у вильчатых рычагов проверяют кон-

трольным валиком, который должен без заеданий входить в оба отверстия.

Параллельность отверстий контролируют, вставляя в отверстия рычага специальные валики. Для этого рычаг устанавливают в вертикальное положение на призмы (см. рис. 5.42, *а*). При покачивании рычага на нижней оправке определяют показание индикатора, соответствующее вертикальному положению рычага. Измерения с каждой стороны проводят на одинаковых расстояниях от торцев бобышек. Разница показаний индикатора указывает на отклонение от параллельности осей отверстий на длине L.

Перпендикулярность торцев бобышек к осям основных отверстий проверяют индикатором при установке рычага на контрольной оправке в центрах (см. рис.5.42, *б*) или посредством щупа, используя контрольный валик с буртом.

Шатуны

Шатуны являются звеньями шатунно-кривошипных механизмов главным образом поршневых двигателей внутреннего сгорания и компрессоров, где они служат для передачи силы от поршня и преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное движение коленчатого вала двигателя либо, наоборот, вращательного движения вала в возвратно-поступательное движение поршня компрессора, осуществляющего сжатие воздуха для подачи его под давлением. Шатуны применяют также в насосах, паровых, ткацких и других машинах. При работе шатуны подвержены действию значительных знакопеременных нагрузок и сил инерции, поэтому они должны иметь высокую прочность, жесткость и минимальную массу.

Эти требования определяют конструкцию шатунов (рис. 5.43), которая характеризуется наличием большой *1* (кривошипной) и малой *3* (поршневой) головок, соединенных стержнем *2* (телом шатуна). Большинство шатунов имеет разъемные кривошипные головки, причем у

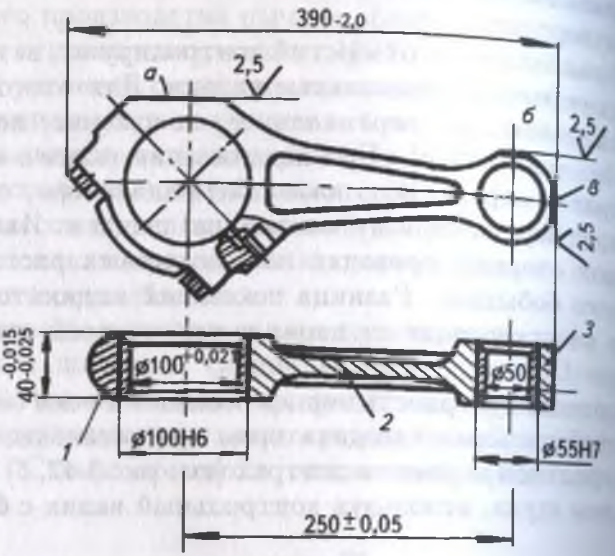


Рис. 5.43. Шатун в сборе

автотракторных двигателей (у которых установка шатунов в картер через цилиндр затруднена из-за значительных размеров кривошипных головок) разъем выполняют под углом плоскости симметрии шатуна для удобства его установки. При составных коленчатых валах с использованием подшипников качения, как, например, в мотоциклетных двигателях, возможно применение неразъемных кривошипных головок шатунов.

В кривошипные головки шатунов для снижения трения скольжения устанавливают вкладыши с антифрикционным покрытием. Малая головка шатуна, как правило, неразъемная, в ее отверстие запрессовывают бронзовую биметаллическую (сталь – бронза) или с капроновой сетчатой лентой втулку. Тело (стержень) шатунов обычно имеет двутавровое сечение и только у больших шатунов в ряде случаев – круглое сечение, причем внутри него может быть маслопроводное отверстие, соединяющее поверхности трения головок шатуна.

Для обеспечения работы шатунов в двигателе или компрессоре внутренняя поверхность вкладышей кривошипных головок должна прилегать к соответствующим шатунным шейкам коленчатого вала, а втулки или вкладыши поршневых головок – к пальцам поршней. Для этого необходимо обеспечить определенную точность диаметральных резмеров и формы, параметры шероховатости поверхностей обеих головок и точность расположения поверхностей. Основные технические требования на шатуны регламентированы для различных машин ГОСТами. В соответствии с ними отверстие под запрессованную втулку и отверстие под поршневой палец двигателя компрессора должны быть изготовлены по $IT5 \ldots IT7$, а отверстия под вкладыши в кривошипных головках шатунов – по $IT6$, $IT7$. Допуски цилиндричности этих отверстий составляют 0,5 допуска диаметра отверстия для бензиновых двигателей, 0,66 допуска диаметра отверстий для дизельных шатунов и не более 0,5 допуска диаметра отверстия для компрессоров. Шероховатость поверхности основных отверстий $Ra = 0,32 \ldots 2,5$ мкм. Допуск параллельности осей отверстий малой и большой головок $0,02 \ldots 0,04$ мм на 100 мм длины отверстия. Отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей головок к их осям $0,01 \ldots 0,05$ мм на 100 мм радиуса, а площадок под гайки головок призонных болтов к осям отверстий для них $0,07 \ldots 0,01$ мм на длине 100 мм. Точность изготовления отверстий под болты $IT9$. Отклонение массы шатуна от массы, указанной в чертеже, не более 3 %.

В качестве материалов для шатунов используют конструкционные среднеуглеродистые стали 40, 45, легированные стали 45Г2, 18ХНМА, 18ХГН4ВА, высокопрочные ковкие чугуны и титановые сплавы. Заготовки шатунов автомобильных, тракторных двигателей и компрессоров в условиях массового и серийного типов производства получают методом объемной штамповки. В качестве исходного материала используют горячекатаный прокат или предварительно кованую заготовку. Для штамповки в основ-

ном применяют паровоздушные штамповочные молоты. В массовом и серийном типах производства применяют кривошипные прессы и горизонтально-ковочные машины. Заготовки шатунов часто получают с отверстием в кривошипной головке, а отверстие в поршневой головке выполняют в основном механической обработкой или прошивают в заготовках с припуском на обработку. Заготовки шатунов, как правило, получают цельными. Значительно реже крышку штампуют отдельно от тела шатуна. В этом случаев можно использовать оборудование меньшей мощности, но тогда увеличивается расход металла на заготовки.

Штампованные заготовки шатунов и крышек автотракторных двигателей часто подвергают калиброванию и чеканке. Калибрование повышает точность формы и размеров заготовок по всему профилю и способствует постоянству их масс. Это приводит к снижению припусков на обработку, сокращению ее трудоемкости. Чеканка торцев заготовок обеспечивает большую точность установки заготовок, малые припуски, что позволяет производить сразу шлифование торцев. Для снятия остаточных напряжений после штамповки, а также для улучшения обрабатываемости заготовки шатунов подвергают нормализации.

Рассмотрим ТП изготовления шатунов на примере шатуна унифицированного поршневого компрессора П110. Основными поверхностями шатуна являются внутренние поверхности головок и их торцы, а также отверстия под шатунные болты (см. рис. 5.43). Большая головка имеет косой разъем, а шатун состоит из двух частей: стержня *2* и крышки *1*. В крышку *1* запрессовывают штифты, обеспечивающие центрирование ее с телом шатуна при сборке. В большой (кривошипной) головке шатуна имеется точное обработанное отверстие диаметром 100 Н6, в которое устанавливают тонкостенные биметаллические вкладыши с антифрикционным слоем из алюминиевого сплава. В малой (поршневой) головке имеется отверстие диаметром 55 Н7, предназначенное

для бронзовой втулки, сопрягаемой с поршневым пальцем.

Конструкция шатуна технологична. Так, диаметральные размеры отверстий в его большой и малой головках, а также линейные размеры унифицированы для всех компрессоров типа П. Это позволяет использовать одно и то же оборудование, оснастку и преимущества групповой обработки при организации производства шатунов. Благодаря двутавровому сечению стержня шатун является достаточно жестким и устойчивым, что позволяет при обработке применять многоинструментальные наладки и форсированные режимы резания. К основным элементам конструкции, улучшающим ее технологичность, относятся значительные по площади необрабатываемые поверхности. Форма этих поверхностей удобна для горячей штамповки – они имеют уклоны и плавные переходы. Повышает технологичность и одинаковая высота обеих головок. Шатун изготавливают из стали 45 методом горячей объемной штамповки. В большой головке шатуна отверстие прошито.

Несмотря на то, что шатуны с разрезной кривошипной головкой состоят из двух деталей, многие операции, включая и получение заготовки, выполняют на этих деталях совместно. Тем самым облегчается обработка отверстия большой головки и достигается совпадение поверхностей, являющихся общими для тела шатуна и крышки. Маршрут обработки шатуна можно разделить на три этапа:

1) обработка заготовки шатуна до ее разрезки: обработка торцев, предварительная обработка отверстий в головках шатуна, протягивание технологических лысок *б*, *в* в малой и *а* в большой головках шатуна (см. рис. 5.43);

2) раздельная обработка крышки и стержня шатуна после разрезки: обработка плоскостей разъема в крышке и стержне шатуна, обработка отверстий под шатунные болты, а также резьбовых и гладких отверстий;

3) совместная обработка крышки и стержня шатуна в сборе. Совместной и окончательной обработке подвергают торцы головок и отверстия в них.

Совместная обработка крышки и стержня шатуна исключает их взаимозаменяемость, поэтому уже при разрезании заготовок необходимо клеймить одним номером крышку и стержень шатуна. Для обеспечения высокой точности взаимного положения трущихся поверхностей втулки и вкладыша окончательную обработку их отверстий выполняют на собранном шатуне. В качестве базовых поверхностей используют торцевые поверхности головок, позволяющие просто и устойчиво устанавливать заготовку на плоские поверхности столов станков и приспособлений. Выбор в качестве одной из баз торцев удобен еще и потому, что возможна одновременная обработка нескольких заготовок, прилегающих одна к другой торцами головок.

Технологический процесс включает следующие основные операции.

1. Фрезерование торцев головок заготовок шатуна на карусельно-фрезерном станке торцевыми фрезами, обеспечивающими предварительное и чистовое фрезерование торцев. На поворотном столе станка устанавливают в приспособлениях шесть шатунов. Сначала фрезеруют торец с одной стороны шатуна, затем – с другой. Переустановка шатунов после обработки торца с одной стороны производится через одно приспособление без выключения подачи стола. Метод производителен и находит широкое применение в серийном и крупносерийном производствах.

2. Шлифование торцев на плоскошлифовальном полуавтомате. На магнитной плите поворотного стола станка устанавливают шесть заготовок. После шлифования заготовок с одной стороны в размер 40,8 мм их переворачивают и шлифуют с другой стороны в размер 40,2 мм. Параметры шероховатости $Ra = 1,25$ мкм.

3. Последовательное сверление, зенкерование отверстия в малой головке шатуна на агрегатно-сверлильном

станке в двух позициях (третья позиция – загрузочная). За базу берут обработанные торцы бобышек и их наружные поверхности (см. рис. 5.41, *б*)

4. Протягивание трех базовых лысок *а* ... *в* (см. рис. 5.43) на вертикально-протяжном станке. В качестве базы используют торцы бобышек и отверстий в большой и малой головках шатуна (см. рис. 5.41, *д*), обработанного на предшествующей операции.

5. Разрезание большой головки шатуна, выполняемое на горизонтально-фрезерном станке дисковой фрезой в двухместном приспособлении (рис. 5.44). Заготовку базируют торцами и отверстием в малой головке, по технологическим лыскам.

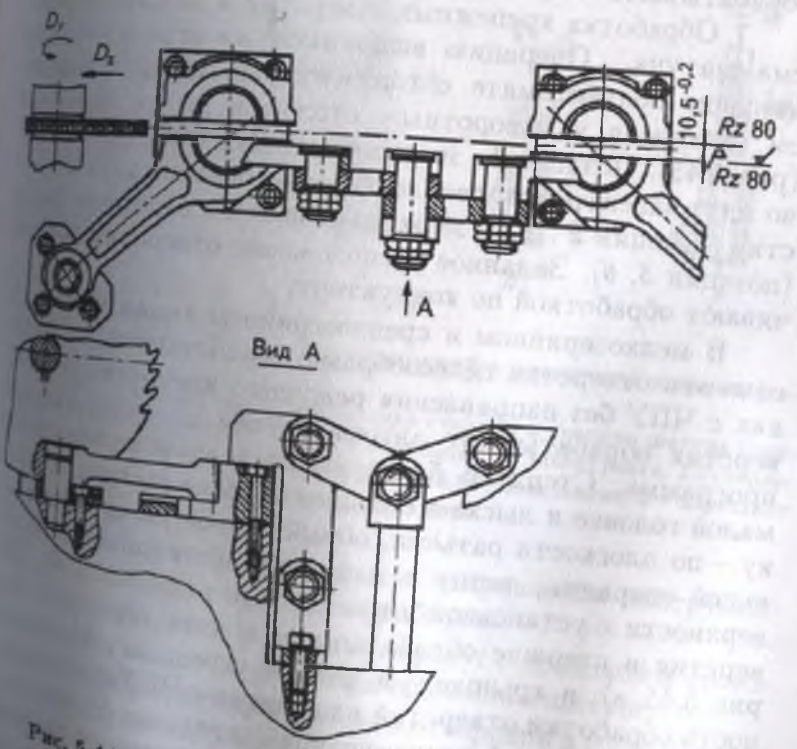


Рис. 5.44. Схема разрезания большой головки шатуна

6. Окончательная обработка плоскостей разъема на вертикально-протяжном станке. Необходимость этой операции объясняется тем, что при разрезании шатуна нельзя обеспечить необходимую шероховатость поверхности, точность размеров, а также плоскостность поверхностей разъема и их правильное положение относительно продольной оси шатуна. В последующих двух операциях фрезеруют плоскости кромки под болты и протягивают в крышке замок. В единичном и мелкосерийном производствах обработку плоскостей разъема выполняют на горизонтально-фрезерном станке торцевой фрезой с помощью специального приспособления, в котором закрепляют и одновременно обрабатывают стержень и крышку шатуна.

7. Обработка крепежных отверстий в плоскости разъема шатуна. Операцию выполняют на агрегатно-сверлильном полуавтомате с горизонтальным расположением шпинделя и поворотным столом в шести позициях (рис. 5.45). Позиция *1* – загрузочная. Далее последовательно идут зацентровка, сверление, зенкерование двух отверстий (позиции *2* ... *4*), зенкование фасок и нарезание резьб (позиции *5*, *6*). Заданное расположение отверстий обеспечивают обработкой по кондуктору.

В мелкосерийном и среднесерийном типах производства эти отверстия целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ без направления режущего инструмента. Отверстия обрабатывают автоматически по управляющей программе. Стержень базируют по торцам, отверстию в малой головке и лыске в большой головке шатуна, крышку – по плоскости разъема, обработанной на предшествующей операции, торцу и наружной цилиндрической поверхности с установкой в призму (см. рис. 5.45, *а*, *б*). Отверстия в стержне обрабатывают в пять переходов (см. рис. 5.45, *в*), в крышке – в четыре перехода. Эффективность обработки отверстий на станках с ЧПУ обеспечивается максимальной концентрацией переходов обработки в одной операции, уменьшением вспомогательного времени на установку и закрепление инструментов и заготовок, ис-

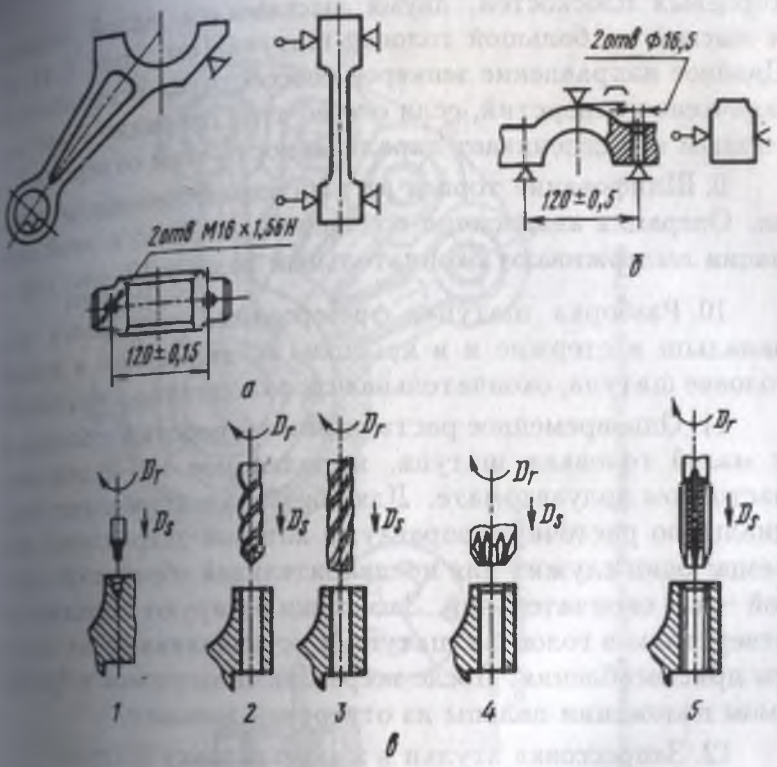


Рис. 5.45. Схема обработки отверстий в плоскости разъема шатуна:

а, б – схемы базирования и закрепления стержня и крышки шатуна соответственно; *в* – последовательность переходов: *1* – зацентровка; *2* – сверление спиральным сверлом; *3* – зенкерование; *4* – зенкование; *5* – нарезание резьбы метчиком

ключением приспособлений для направления инструментов, повышением точности обработки.

Затем стержни шатуна собирают с крышкой и производят обработку отверстий на собранном шатуне.

8. Одновременная обработка отверстий в головках шатуна двумя насадными зенкерами на агрегатно-расточном полуавтомате. Заготовку устанавливают в приспособление с пневматическим приводом и базируют одной из

торцевых плоскостей, двумя лысками на малой головке и лыской на большой головке шатуна (см. рис. 5.41, е). Двойное направление зенкеров способствует исправлению положения отверстий, если оно до этой операции было неточным и обеспечивает параллельность осей отверстия.

9. Шлифование торцев на плоскошлифовальном станке. Операция аналогична описанной в п. 2, но в этой операции выдерживают окончательный размер $40^{-0,015}_{-0,025}$ мм.

10. Разборка шатуна, фрезерование паза-замка под вкладыш в стержне и в крышке, а также паза в малой головке шатуна, окончательная сборка шатуна с крышкой.

11. Одновременное растачивание отверстий в большой и малой головках шатуна, выполняемое на отделочно-расточном полуавтомате. Для обработки применяют специальную расточную оправку, в которой закреплены два резца: один служит для предварительной обработки, другой – для окончательной. Заготовки базируют торцами по отверстиям в головках шатуна и устанавливают на пальцы приспособления. После закрепления заготовок в требуемом положении пальцы из отверстий выводят.

12. Запрессовка втулки в малую головку шатуна.

13. Хонингование отверстия в большой головке шатуна. Операцию выполняют на хонинговальном полуавтомате в три позиции *I* ... *III* (рис. 5.46). Технологическими базами являются торцы и отверстие в малой головке. После хонингования в большую головку шатуна вставляют вкладыш и производят окончательную обработку отверстий в большой и малой головках шатуна на отделочно-расточном полуавтомате.

14. Контроль соответствия детали чертежу и техническим условиям. Размеры основных поверхностей контролируют калибрами, глубиномерами, скобами и штангенциркулями. Для контроля точности расположения поверхностей применяют специальные приспособления. Схемы контроля показаны на рис. 5.42.

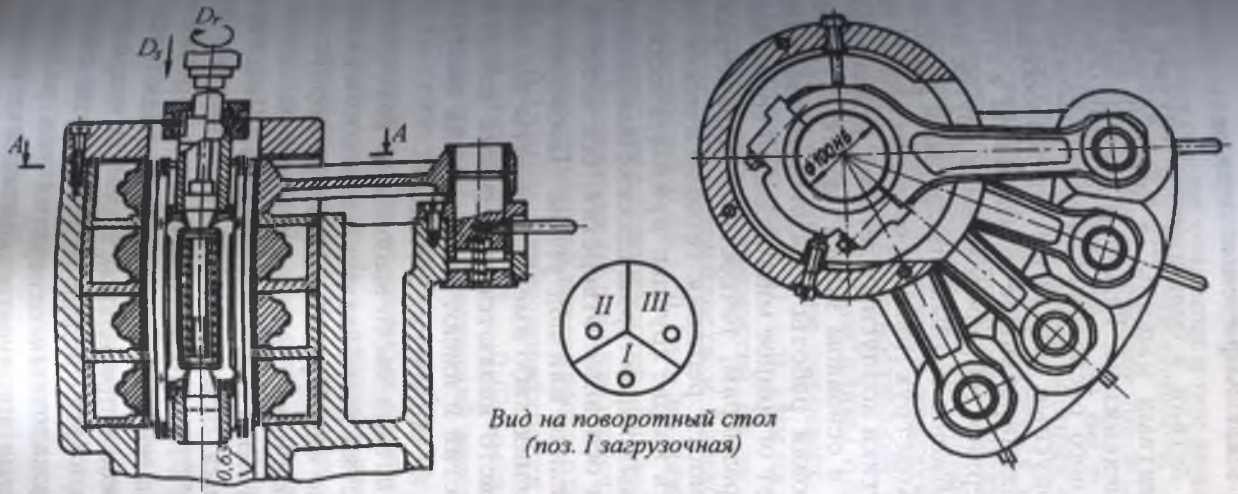


Рис. 5.46. Схема хонингования отверстий в большой головке шатуна

других машин изготовляют из серого чугуна марок СЧ 15, СЧ 18, СЧ 20; малонагруженные детали типа крышек, плит, поддонов – из чугуна СЧ 10; блоки цилиндров, головки блоков различных двигателей – из чугуна марок СЧ 20, СЧ 25 и алюминиевых сплавов АЛ4, АЛ9; корпуса высоконапорных насосов компрессоров – из чугуна повышенной прочности СЧ 25, СЧ 30. Корпуса паровых турбин, работающих при 250 ... 400 °С и высоком давлении получают литьем из стали 30Л; картера задних мостов автомобилей большой грузоподъемности – из стали 40Л. Корпусные детали, работающие в соприкосновении с агрессивной средой (кислотами, щелочами, морской водой) – из коррозионностойких сталей 20Х13Л, 12Х18Н9ТЛ, 15Х25ТЛ, а также из литейной латуни Лц30А3. Для изготовления корпусных деталей малой массы применяют алюминиевые сплавы АЛ3, АЛ4, АЛ7, АЛ24 и магниевые сплавы МЛ3, МЛ5, МЛ15. Сварные корпусные детали в большинстве случаев изготовляют из листовой малоуглеродистой стали Ст 3.

Заготовки корпусных деталей получают литьем, сваркой, реже резкой проката. Основным способом получения отливок является литье в песчано-глинистые формы, в кокиль, под давлением, литье в оболочковые формы, а для малых по размеру и массе деталей – литье по выплавляемым моделям. На отливки из черных и цветных металлов и сплавов ГОСТ 26645 – 85 устанавливает допуски размеров, формы, расположения и неровностей поверхностей, а также допуски массы и припуски на обработку. В стандарте приведены рекомендации по выбору методов литья в зависимости от типа сплава, требуемого класса размерной точности и габаритов отливки.

Сварные заготовки из стали применяют главным образом в условиях единичного и мелкосерийного типов производства для корпусов, имеющих относительно простую геометрическую форму, а также корпусов, подверженных ударной нагрузке. Заготовки, полученные литьем, подвергают термической обработке, благодаря которой улучшается структура и обрабатываемость ма-

териала, снижаются остаточные напряжения, повышаются физико-механические свойства. Перед механической обработкой проводят пескоструйную или дробеструйную очистку заготовок, которые затем испытывают с помощью гидропробы на плотность и герметичность. Детали, работающие под давлением, подвергают повторной гидропробе после окончательной обработки.

Чтобы достигнуть требуемую точность детали наиболее коротким путем, в качестве технологических баз для выполнения большинства операций следует выбирать те поверхности детали, относительно которых заданы положения наибольшего числа поверхностей. Корпусные детали базируют, выдерживая принцип совмещения технологических, измерительных и конструкторских баз, а также принцип постоянства баз.

При обработке заготовок корпусных деталей призматического типа наиболее приемлемой по компактности и возможностям автоматизации следует признать схему базирования* на плоскость П и два перпендикулярных ей отверстия $ПВ_1$ и $ПВ_2$, т.е. $П^3 \perp (ПВ_1 \parallel ПВ_2)^3$ (рис. 5.47, *а*). Эту схему легко реализовать, задавая отверстия $ПВ_1$ и $ПВ_2$ как искусственную базу (при отсутствии таких отверстий) с точностью диаметральных размеров по *IT*7, *IT*8.

Для лишения призматических заготовок шести степеней свободы их базируют по трем взаимноперпендикулярным плоскостям по схеме $П_1^3 \perp П_2^2 \perp П_3^1$ (рис. 5.47, *б*); базовые плоскости при этом могут быть черными (необработанными) (см. рис. 5.47, *б*) и чистыми, наружными и сочетанием наружных и внутренних. Возможны упрощения этой схемы: $П_1^3 \perp П_2^2$ и даже $П_1^3$. На первой операции заготовку устанавливают необработанными поверхностями, желая получить требуемое по чертежу расположение обрабатываемой поверхности относительно необрабатываемых

* Расшифровку условных обозначений в схемах базирования см. в 5.7.2 тома 1 настоящего учебника.

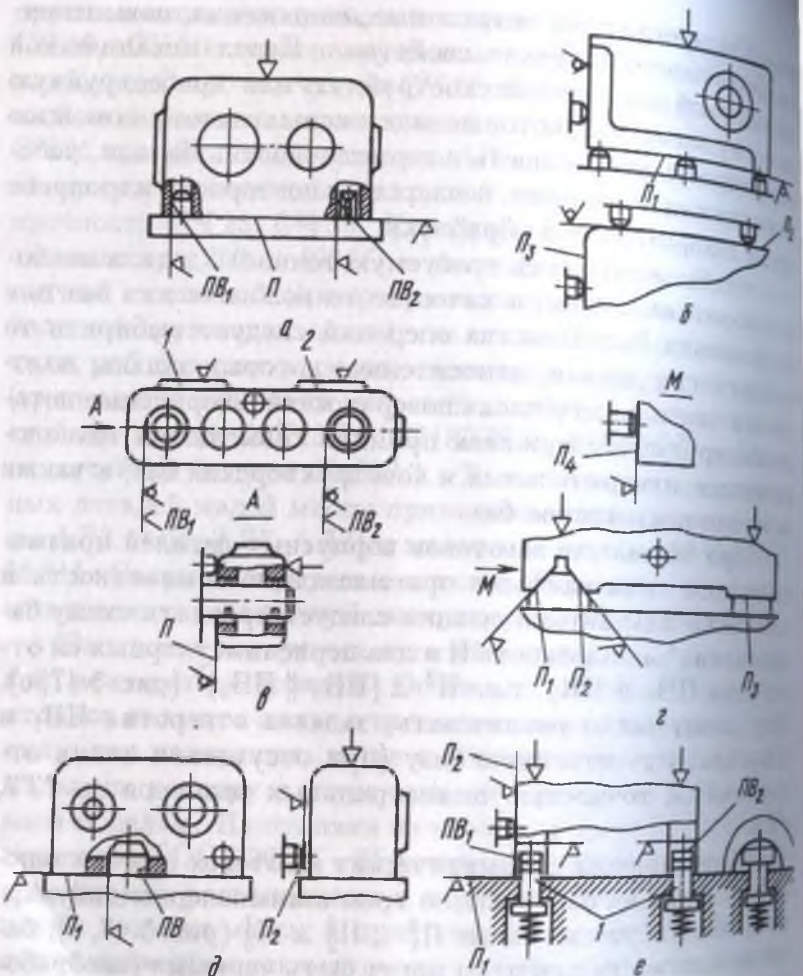


Рис. 5.47. Схемы базирования заготовок призматических корпусных деталей

и равномерное распределение припусков на поверхностях, которые будут обработаны на следующих операциях.

Если у заготовки несколько основных отверстий и они имеют достаточно большие размеры, то ее часто базируют по двум необработанным поверхностям $ПВ_1$ и $ПВ_2$ с параллельными осями, используя консольные опра-

ки с выдвижными элементами, и перпендикулярной им (осям) плоской поверхности П, реализуя схему базирования $(ПВ_1^4 \parallel ПВ_2^1) \perp П^1$ (рис. 5.47, *в*). При этой установке обрабатывают платики *1* и *2*. Устанавливая заготовку на эти платики для последующей обработки, можно обеспечить снятие равномерного припуска при растачивании основных отверстий.

Заготовки корпусных деталей станков часто базируют по направляющим плоским поверхностям $П_1$, $П_2$, $П_3$ (рис. 5.47, *г*), лишая их в соответствии со схемой $\left[(П_1 \perp П_2)^4 < П_3^1\right] \perp П_4^1$ шести степеней свободы. Основным недостатком этой схемы, как и схемы $П_1^3 \perp П_2^3 \perp П_3^1$ (см. рис. 5.47, *б*), является необходимость переустановок заготовок; для обработки поверхностей, закрытых установочными и зажимными элементами приспособлений.

При обработке заготовок на АЛ нередко применяют установку по двум взаимно перпендикулярным плоскостям $П_1$, $П_2$ и отверстию ПВ, ось которого перпендикулярна одной из плоскостей (схема $ПВ^2 \perp П_1^3 \perp П_2^1$) (рис. 5.47, *д*).

В схеме, приведенной на рис. 5.47, *е*, заготовку базируют по поверхностям полуотверстий $ПВ_1$ и $ПВ_2$, по нижней плоскости $П_1$ и торцу $П_2$ (схема базирования $П_1^3 \perp П_2^1(ПВ_1 - ПВ_2)^2$. Самоустанавливающиеся опоры *1* предотвращают сдвиг заготовок в поперечном направлении.

При базировании заготовок фланцевых корпусных деталей чаще всего используют поверхности вращения (внутренние или наружные) и плоскость, перпендикулярную оси поверхности вращения (нередко двум осям). На рис. 5.48, *а* показано базирование заготовки плоскостью П, основным отверстием $ПВ_1$ и отверстием $ПВ_2$, оси которых перпендикулярны плоскости [схема базирования $П^3 \perp (ПВ_1 \parallel ПВ_2)^3$].

Схема, представленная на рис. 5.48, *б*, аналогична предшествующей; отличие состоит в использовании в ка-

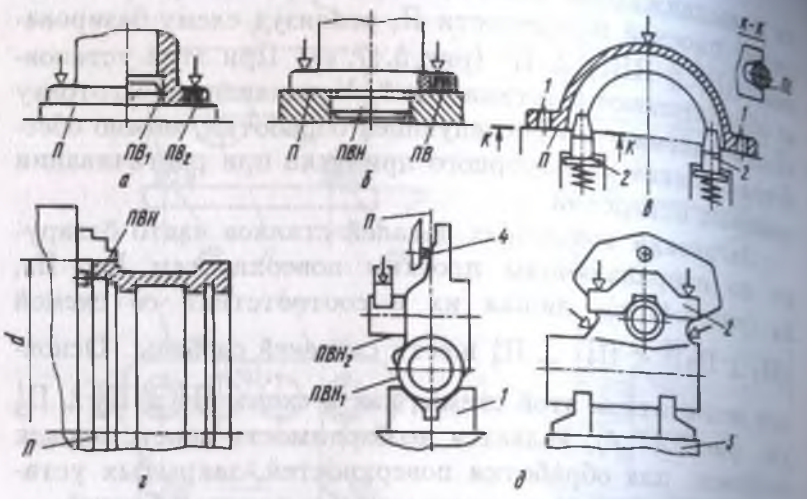


Рис. 5.48. Схемы базирования заготовок фланцевых корпусных деталей

честве базовой поверхности наружной поверхности вращения (выступа) ПВН вместо центрального основного отверстия [схема базирования $П^3 \perp (ПВН \parallel ПВ)^3$].

Применяя базирование по обработанной плоскости П разъема и внутренней необрабатываемой поверхности ПВ проточного канала обеих половин корпуса центробежного насоса (рис. 5.48, *в*), обеспечивают совмещение контура этого канала у обеих половин корпуса при его последующей сборке по отверстиям *1*, просверленным по кондуктору и затем обработанным разверткой. Установочные элементы *2* имеют коническую поверхность для выборки зазора и выполнены самоустанавливающимися.

Заготовки типа "тело вращения", например заготовки статора радиально-поршневого насоса, устанавливают по наружной поверхности вращения ПВН и торцевой плоскости П (рис. 5.48, *г*), реализуя схему базирования $ПВН^2 \perp П^3$.

Заготовки сложной конфигурации закрепляют в приспособлениях-спутниках для возможности их обработки и

транспортирования на автоматических линиях. Заготовку корпуса гидроруля автомобиля устанавливают черными (необработанными) наружными поверхностями вращения $ПВН_1$ и $ПВН_2$ с пересекающимися осями в призмы *1* и *2*, установленные в опоре *3*, и плоскостью П по упору *4* приспособления-спутника по схеме $ПВН_1^4 \perp ПВН_2^1 \perp П^1$, причем призма *2* является установочным и зажимным элементом (рис. 5.48, *д*).

Маршрут изготовления корпусной детали включает следующие этапы:

1) изготовление заготовки, чаще всего отливки;

2) проведение гидравлических испытаний на гидроплотность стенок заготовки (необходимость выполнения зависит от служебного назначения и технических требований);

3) устранение пористости и других неплотностей отливки пропиткой бакелитовым лаком и другими способами (по мере необходимости);

4) естественное или искусственное старение заготовки, причем предпочтение следует отдать искусственному старению в процессе термической обработки для снятия или уменьшения остаточных напряжений (необходимость выполнения зависит от требований точности и жесткости заготовки, а также других условий);

5) обработка поверхностей заготовки, предназначенных для технологических баз: совокупности плоскостей, плоскости и двух отверстий, плоскости, цилиндрического выступа и отверстия (см. рис. 5.47, 5.48) при установке на черные (необработанные) базы;

6) обработка взаимосвязанных плоскостей;

7) обработка взаимосвязанных основных отверстий;

8) обработка крепежных и других мелких отверстий;

9) отделочная обработка плоскостей и основных отверстий (по мере необходимости);

10) очистка, мойка, сушка поверхностей детали;

11) гидравлические испытания герметичности стыков и плотности стенок;

12) технический контроль размеров, формы и расположения поверхностей;

13) отделка, грунтовка, окраска внутренних необработанных поверхностей.

Маршрут изготовления разъемных корпусов содержит дополнительные этапы: обработка плоскостей разъема; обработка отверстий под штифты и крепежных отверстий в плоскостях разъема частей корпуса; промежуточная сборка корпуса; совместная обработка системы основных отверстий и сопряженных с ними торцевых плоскостей.

В автоматизированном производстве заготовки корпусных деталей часто полностью обрабатывают при установке на черные технологические базы в приспособления-спутники АЛ и обрабатывающих центров. В этом случае из маршрута исключают этап обработки поверхностей, предназначенных под технологические базы.

В серийном производстве плоские поверхности заготовок призматических корпусных деталей обрабатывают на продольно-фрезерных, продольно-строгальных и продольно-шлифовальных станках. Торцевые плоские поверхности заготовок фланцевого типа протачивают на токарно-револьверных и токарно-карусельных станках, а также на токарных многошпиндельных вертикальных полуавтоматах. В первую очередь обрабатывают поверхности технологических баз и другие плоские поверхности. При построении операций обработки плоскостей необходимо обеспечивать их высокую производительность путем концентрации параллельно выполняемых технологических переходов, используя для этого все технологические возможности станка. Этой задаче отвечает многоместная многоинструментальная параллельно-последовательная схема обработки плоскостей заготовок корпусных деталей двух наименований в условиях серийного производства, показанная на рис. 5.49.

Многоместность схемы обеспечивают "перекладыванием заготовок". Способ состоит в том, что каждую заготовку переустанавливают последовательно в несколько

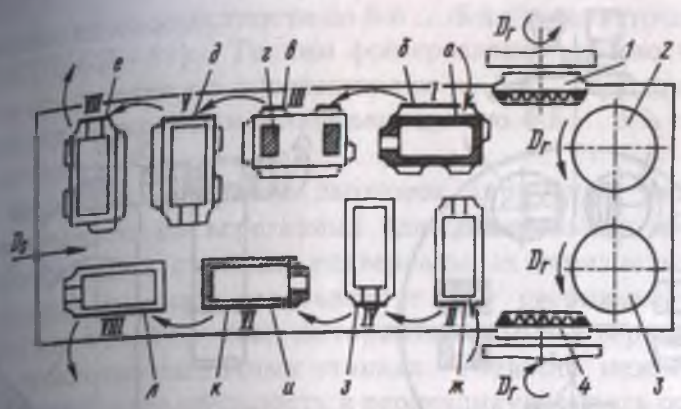


Рис. 5.49. Схема обработки плоских поверхностей с перекладыванием заготовок и в два потока:
1 - 4 – торцевые фрезы; *I, III, V, VII* – позиции обработки заготовки корпуса; *II, IV, VI, VIII* – позиции обработки заготовки крышки корпуса; *а... л* – обрабатываемые поверхности

положений таким образом, чтобы сделать доступными для обработки поверхности, расположенные с разных сторон. При таком построении операции лучше, чем при обработке партиями, используется станок, устраняется переналадка станка, приспособлений и инструмента, обеспечивается непрерывное питание поточной линии заготовками с законченной обработкой плоскостей. Способ перекладывания обеспечивает получение комплекта заготовок корпус – крышка, повышая синхронность выполнения операций изготовления разъемных корпусов.

Плоские поверхности заготовок корпусных деталей в поточно-массовом производстве обрабатывают на карусельно- и барабанно-фрезерных станках, а также на плоскопротяжных станках; в АЛ используют агрегатно-фрезерные станки. Схема черновой и чистовой обработки двух поверхностей заготовки параллельно-последовательно двумя фрезами *4* и *5* при непрерывной круговой подаче стола D_S с перекладыванием заготовок показана на рис. 5.50. Из позиции *II* производят съем *1* заготовки с двумя обработанными поверхностями, затем из позиции *I*

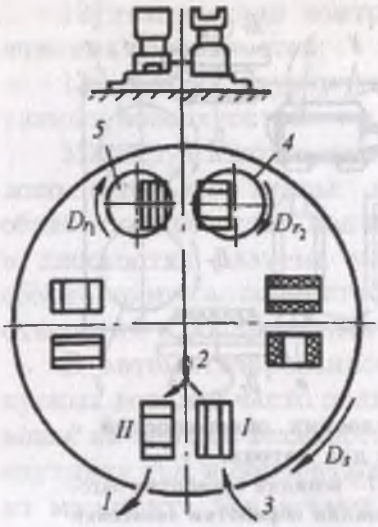


Рис. 5.50. Схема обработки плоскостей на карусельно-фрезерном станке с перекладыванием заготовок

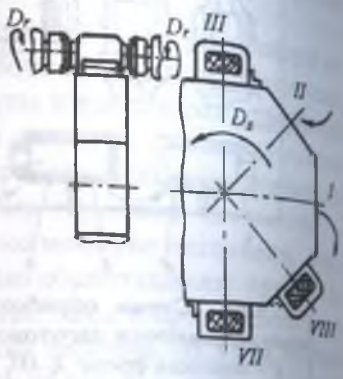


Рис. 5.51. Схема обработки на барабанно-фрезерном станке двух параллельных плоскостей заготовки

выполняют перекладывание *2* в позицию *II*, а в позицию *I* производят установку *3* новой заготовки.

На барабанно-фрезерном станке (рис. 5.51) построена многоместная многоинструментальная параллельная схема обработки двух параллельных плоскостей заготовки фрезами, расположенными с двух сторон. В позиции *I* обработанную заготовку снимают, в позиции *II* устанавливают новую заготовку, а в позициях *III* ... *VIII* обрабатывают. В позициях *I* и *II* благодаря многоместным схемам установки заготовок и непрерывности подачи, время на установку и снятие заготовок перекрывается основным временем, что заметно повышает производительность обработки.

Фрезерованием в два перехода (черновой и чистовой) поверхностей размером не более 400 × 400 мм может быть достигнута точность размера между плоскостями *IT*9 ... *IT*11, шероховатость $Ra = 2,5 \ldots 5,0$ мкм, от-

клонение от плоскостности по 6-й ... 9-й степени точности (ГОСТ 24643 – 81). Тонким фрезерованием можно получить отклонение от плоскостности по 5-й ... 8-й степени точности, а чистовым шлифованием – по 4-й ... 6-й степени точности.

Основные отверстия заготовок корпусных деталей обрабатывают на агрегатных одношпиндельных и многошпиндельных станках, универсальных горизонтально-расточных станках, на станках с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы, на горизонтальных и вертикальных отделочно-расточных станках. Точность межосевых расстояний, параллельность и перпендикулярность осей, а также соосность отверстий обеспечивают обработкой отверстий с направлением и без направления инструмента. Обработку с направлением инструмента выполняют на горизонтально-расточных и агрегатно-расточных многошпиндельных и одношпиндельных станках. Условия применения этих схем приведены в 5.3.3.

Обработку основных отверстий можно производить консольно закрепленным инструментом без его направления на агрегатно-расточных, горизонтально-расточных и отделочно-расточных станках, а также на расточных и многоцелевых станках с ЧПУ. Точность расположения отверстий обеспечивают перемещением узлов станка по заданным координатам.

Изготовление крепежных отверстий занимает значительное по трудоемкости место в ТП производства корпусных деталей. Эти отверстия располагают группами с взаимной координацией внутри группы и относительно осей симметрии базовых поверхностей или других групп отверстий. Чаще всего требуемое расположение отверстий достигают направлением сверл и зенкеров по втулкам кондукторов. Многошпиндельная параллельная обработка крепежных отверстий наиболее производительна. На агрегатно-сверлильных многосторонних (или многопозиционных) станках число шпинделей достигает нескольких десятков, а в АЛ – нескольких сотен. Многошпиндельная

обработка крепежных отверстий на АЛ позволяет уменьшить станкоемкость в 50...100 раз по сравнению с одношпиндельной обработкой в серийном производстве. На многошпиндельных станках группы отверстий обрабатывают в нескольких позициях последовательным перемещением заготовки в новую позицию либо поворотом стола, либо поступательным движением. Позиции оснащены соответствующим инструментом: первая – сверлами, расположенными в кондукторе, вторая – зенковками или зенкерами, третья – метчиками. Точность при обработке крепежных отверстий, применяемый инструмент и инструментальные наладки изложены в 5.3.3. Обработка крепежных отверстий на станках с ЧПУ происходит последовательно при точном позиционировании и смене инструмента.

При техническом контроле измеряют следующие отклонения: от прямолинейности (или плоскостности) и перпендикулярности плоскостей, образующих конструкторские и измерительные базы корпуса; формы основных отверстий в поперечном и продольном сечениях; от соосности отверстий; от параллельности осей основных отверстий конструкторским базам, от параллельности осей основных отверстий между собой, а также расстояний между отверстиями; от перпендикулярности осей отверстий между собой; от перпендикулярности торцевых поверхностей к осям отверстий.

Допускаемую погрешность измерения $[\Delta_{изм}]$ устанавливают в зависимости от допуска на параметр поверхности:

$$[\Delta_{изм}] = kT,$$

где $k = 0,2...0,35$ ($k = 0,35$ для $IT2...IT5$ и 1-й... ...4-й степени точности; 0,3 для $IT6$, $IT7$ и 5-й, 6-й степени точности; 0,25 для $IT8$, $IT9$ и 7-й, 8-й степени точности; 0,2 для $IT10...IT17$ и 9-й...16-й степени точности).

Отклонения от прямолинейности поверхности измеряют приспособлением, представленным на рис. 5.52. Работа устройства основана на методе сравнения проверяемой

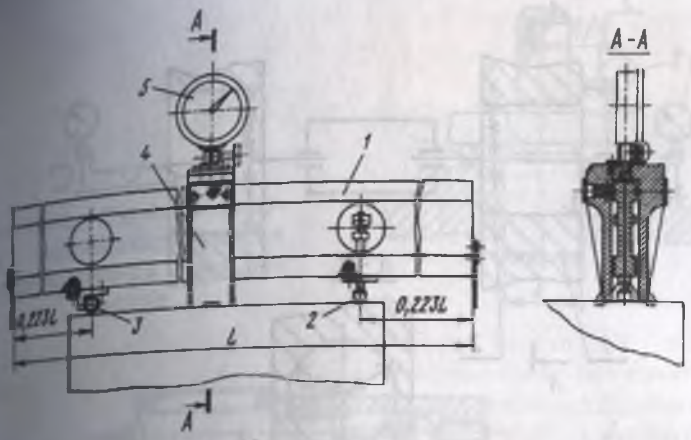


Рис. 5.52. Схема контроля прямолинейности плоскости

поверхности с образцовой поверхностью линейки *1* путем передвижения по ней каретки *4* с измерительной головкой *5* и создания контакта пяток каретки с проверяемой поверхностью и контакта наконечника измерительной головки с образцовой поверхностью линейки. Предварительно линейку *1* выставляют параллельно измеряемой поверхности с помощью регулируемой опоры *2* и неподвижного упора (ролика) *3*. Отклонение от прямолинейности определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний измерительной головки. Допускаемая погрешность измерения равна 0,003 мм для диапазона измерения 0 . . . 250 мм.

Отклонение от соосности двух отверстий относительно их общей оси измеряют приспособлением (рис. 5.53), установленным в проверяемые отверстия *1* корпусной детали и зафиксированным вдоль оси упором *3*. Оси двух измерительных головок *4* (измерительных пяток) лежат в общей плоскости двух жестких упоров *2* базирующих мостиков и отстоят от этих упоров на расстоянии, равном половине длины отверстия. Отклонения от соосности измеряют снятием показаний измерительных головок при вращении в проверяемых отверстиях на 360° через определенный угловой интервал, например 60°. Максимальные отклонения стрелки измерительной головки опре-

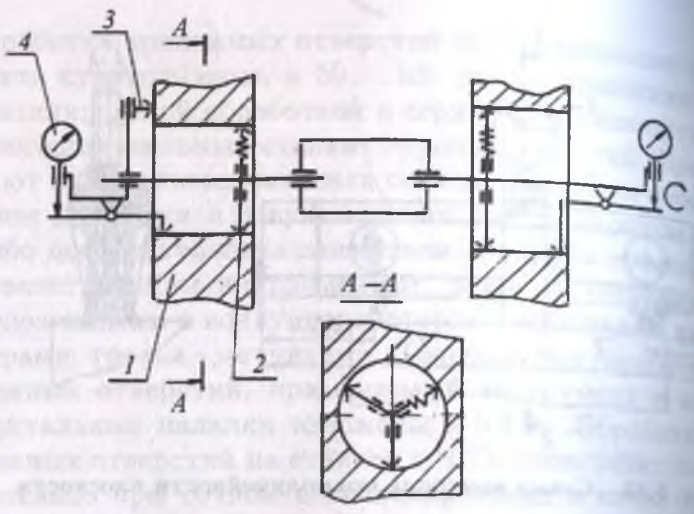


Рис. 5.53. Схема контроля соосности отверстий

делят радиальные биения отверстий. Погрешность измерения для диапазона диаметров проверяемых отверстий 40...65 мм при диапазоне расстояний между жесткими упорами 150...360 мм составляет не более 0,004 мм.

Контроль перпендикулярности плоскости *А* к оси отверстия производят приспособлением, состоящим из оправки *2* с фланцем, закрепленного во фланце упора *1* и измерительной головки *3* (рис. 5.54). Диаметр оправки выполняют равным диаметру проходного калибра. Оправку вводят в отверстие до упора и поворачивают на 180°. Отклонение от перпендикулярности определяют как разность наибольшего и наименьшего значений показаний головки. Зазор между оправкой и отверстием приводит к погрешности измерения.

Отклонение межцентрового расстояния двух отверстий измеряют с помощью приспособления (рис. 5.55), которое базируют по торцевой поверхности контролируемой детали. При этом палец *1* и подвижный сферический упор *2* под действием пружины *4* соприкасается с внутренними образующими *А* проверяемых отверстий. При нажиме на толкатель *3* палец *1* и упор *2* будут соприкасаться с

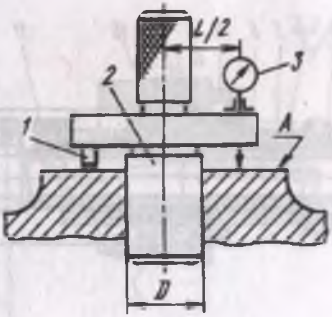


Рис. 5.54. Схема контроля перпендикулярности торца заготовки к оси отверстия

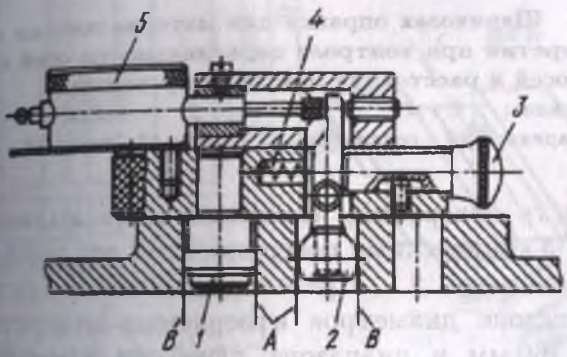


Рис. 5.55. Схема контроля межцентрового расстояния двух отверстий

наружными образующими B тех же отверстий. Настройку индикатора *5* на нуль проводят по образцу. Половина алгебраической разности показаний индикатора дает значение отклонения от номинального расстояния между осями, причем отклонения диаметров и формы отверстий не влияют на результат измерения.

На рис. 5.56 показана конструкция шариковой оправки, позволяющей материализовать общую ось двух отверстий при контроле параллельности осей основных отверстий между собой и относительно плоскости перекоса осей отверстий и контроля размера между осями отверстий. Принцип действия шариковой оправки основан на плотной фиксации оправки в контролируемых отверстиях за счет упора внешних шариков *9* оправки в

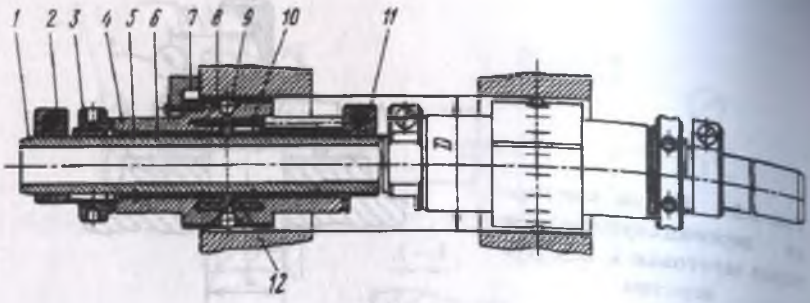


Рис. 5.56. Шариковая оправка для материализации общей оси двух отверстий при контроле параллельности осей отверстий, перекоса осей и расстояния между отверстиями:
1 – стержень; *2*, *11* – хомуты; *3* – гайка; *4* – втулка; *5*, *9* – шарики; *6*, *8* – сепараторы; *7* – упор; *10* – винт; *12* – пружина

поверхность отверстий, что достигается выдавливанием шариков *5* коническими поверхностями втулок *4* при сжатии их гайками *3*. Предел допускаемой погрешности при диапазоне диаметров измеряемых отверстий D = = 45...160 мм и диапазоне длин оси измеряемых отверстий 130...750 мм не более 0,004 мм.

5.4.5. Сложнопрофильные детали

Формообразование отдельных поверхностей или их сочетаний у ряда машиностроительных деталей требует сложного движения исполнительных органов обрабатывающего оборудования или применения сложных по форме (фасонных) инструментов.

Сложнопрофильными называют детали, у которых указанные поверхности предназначены для выполнения деталью основных эксплуатационных функций, а операции формообразования этих поверхностей определяют структуру ТП изготовления таких деталей. Формообразование и обеспечение качества изготовления указанных поверхностей являются, как правило, основными технологическими задачами при изготовлении сложнопрофильных деталей.

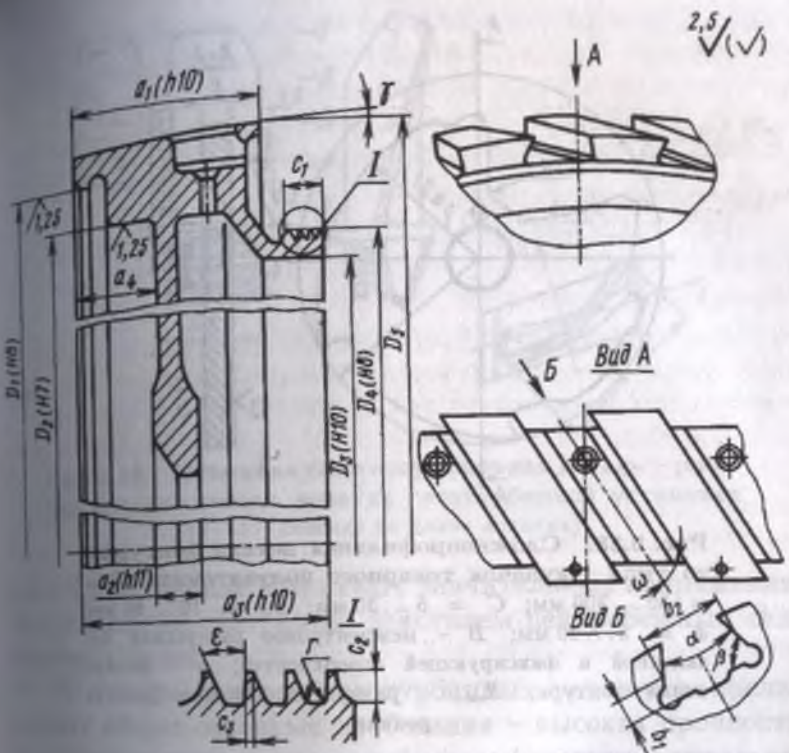


Рис. 5.57. Сложнопрофильная деталь контурного типа – диск компрессора газотурбинной установки (D_5 = 350...800 мм, a_1 = 35...80 мм, γ = 3...15°)

Различают сложнопрофильные детали контурного типа и объемные сложнопрофильные детали.

У деталей контурного типа фасонные поверхности могут быть поверхностями вращения с криволинейной образующей, например диски роторов турбомашин (рис. 5.57), или криволинейными поверхностями с прямолинейной образующей, например эксцентрики, кулачки командоаппаратов (рис. 5.58) и т.д.

Основные фасонные поверхности большинства объемных сложнопрофильных деталей в процессе эксплуатации изделия взаимодействуют с потоками газа или жидкости,

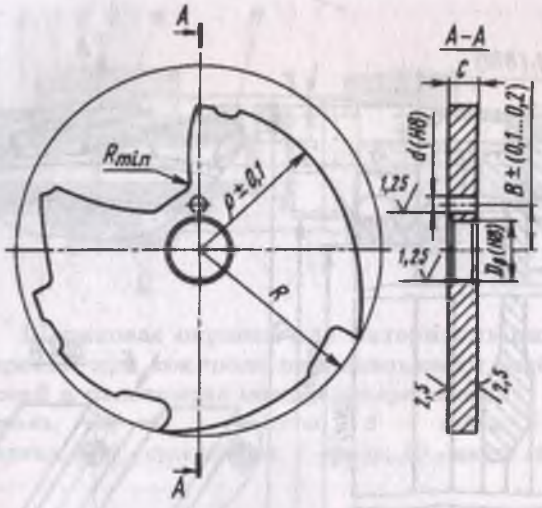


Рис. 5.58. Сложнопрофильная деталь контурного типа – кулачок токарного полуавтомата (R = = 50...300 мм; C = 5...30 мм; $D_в$ = 10...80 мм; d = 5...20 мм; B – межцентровое расстояние посадочной и фиксирующей поверхностей; ρ – радиус точки контура; R_{min} – радиус сопряжения (радиус ролика)

поэтому их часто называют поверхностями аэро- или гидродинамического профиля. К таким деталям прежде всего относят лопатки различных турбомашин (рис. 5.59), роторы винтовых компрессоров, гребные винты и т.д.

Диски относят к основным несущим деталям роторов газотурбинных установок. Назначение дисков – размещение в них рабочих лопаток и обеспечение преобразования механической энергии вращения ротора в кинетическую энергию газа в компрессоре или кинетической энергии газа в механическую энергию вращения ротора (в турбине).

В наиболее сложных условиях работают диски роторов турбин установок авиационного типа: начальная температура газа до 1600 К; давление до 2,8 МПа; окружная скорость (по периферии лопаток) до 490 м/с; активная химическая коррозия и газовая эрозия. При работе дис-

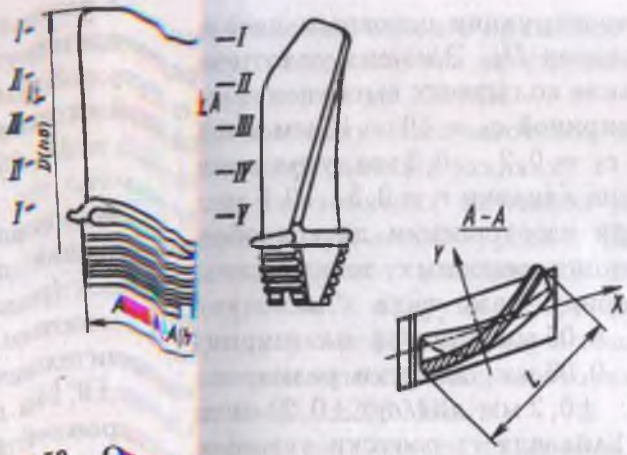


Рис. 5.59. О... я сложнопрофильная деталь – рабочая неохлаж... лопатка газотурбинной установки (... сечения по длине лопатки)

ков в их матер... возникают значительные напряжения, обусловленные ..., например, действием центробежных сил, тепловых поле...

К дискам ... газотурбинных установок предъявляют общие ... ные требования – высокая прочность и жесткость п... симальной массе (последнее определяется типом ус...).

Диск ... сора газотурбинной установки (см. рис. 5.57) ... вращения, на периферии обода которого распол... пазы для установки рабочих лопаток, их число мож... няться от 25 до 100. Пазы находятся под углом к ... ной оси диска $\omega = 45 \ldots 80°$. Обычно пазы дисков ... сора выполняют для установки рабочих лопаток ... овиком типа "ласточкин хвост" шириной $b_2 = ...$ 0 мм, контролируемой на высоте от дна паза $b_1 = ...$ 5,6 мм, углы паза $\alpha = 40°$; $\beta = 70°$. В осевом на... и диск может ограничиваться только раз... иметь выступающую часть, на которой мо... ться дополнительные посадочные или уплотнительные ... рис. 5.57) элементы диска. Размер a_3 может соста... 2 ... 2,5) a_1. Для диска рассматрива-

емой конструкции основным посадочным размером является размер D_2. Элемент уплотнения представляет собой сочетание кольцевых выступов высотой $c_2 = 2 \ldots 3$ мм, общей шириной $c_1 = 10 \ldots 15$ мм и шириной отдельного выступа $c_3 = 0,2 \ldots 0,3$ мм, угол выступа $\varepsilon = 15 \ldots 20°$, радиус дна канавки $r = 0,5 \ldots 0,8$ мм.

При изготовлении дисков обеспечивают выполнение следующих основных технических требований: допуск на ширину паза типа "ласточкин хвост" (размер b_2) $0,02 \ldots 0,05$ мм, допуск на ширину паза елочного типа $0,02 \ldots 0,03$ мм; допуски размеров уплотнительного элемента: $\pm 0,2$ мм для c_1; $\pm 0,2$ мм для c_2; $\pm 0,1$ мм для c_3 и $\pm 0,1$ мм для r; допуски угловых размеров $-4'$ для α, $\pm 4'$ для β, $\pm 5'$ для γ, $\pm 5'$ для ω и $\pm 1°$ для ε; допуск радиального и торцевого биения наружних и внутренних поверхностей вращения и торцев относительно посадочных размеров (D_2 и a_4) не более $0,02 \ldots 0,05$ мм; допуск симметричности паза относительно выбранной базы (размер b_2) не более $0,04 \ldots 0,05$ мм; на поверхностях диска не допускается наличие рисок и уступов высотой более $0,05 \ldots 0,1$ мм. После изготовления диски статически балансируют с маркировкой места дисбаланса и указанием его значения в паспорте детали.

Диски турбин изготавливают из жаропрочных сталей и сплавов (ХН70ВМТЮ, ХН73МБТЮ, ЭК152, ХН35ВТЮ, ХН77ТЮР и т.д.) или титановых сплавов (например, ВТ8).

Диски компрессоров изготавливают из сталей 18ХНВА, 20Х3МВФ, 20Х23Н18, титановых сплавов ВТ3, ВТ9, ВТ22 или, если позволяют условия, из деформируемых алюминиевых сплавов АК4, АК6.

Основным методом изготовления заготовок дисков из сталей и сплавов является штамповка в закрытых штампах, выполняемая на молотах или мощных прессах, чем обеспечиваются высокие объемные свойства материала. Припуски на обработку заготовок дисков, полученных штамповкой, составляют $5 \ldots 6$ мм на сторону. Для изго-

товления заготовок из титановых сплавов применяют изотермическую штамповку, выполняемую на специальных гидравлических прессах усилием до 100 МН.

Прогрессивным методом получения заготовок дисков является раскатка на кольцераскатных станках.

В ряде случаев для изготовления заготовок дисков успешно применяют порошковую металлургию. Порошки исходного материала получают плазменным распылением пруткового материала в вакууме или водороде. Порошок помещают в упругую деформируемую оболочку и выполняют изостатическое прессование заготовки при 1100...1150 °С и давлении 90...200 МПа.

Заготовки дисков подвергают ультразвуковой и рентгеновской дефектоскопии. Они не должны иметь рыхлот, расслоений, трещин и включений, видимых невооруженным глазом.

ТП изготовления диска начинают с обдирочной токарной обработки заготовки с обязательной подрезкой торцев для выполнения ультразвукового контроля ее материала.

Черновую токарную обработку диска с двух сторон последовательно выполняют на станках с ЧПУ с базированием заготовки по наружным цилиндрическим поверхностям и торцам. После токарной обработки торцы полируют и протравливают для рентгеновского контроля качества материала. Рассматриваемый этап завершает термическая обработка заготовки – закалка с последующим отпуском или старением.

Далее на станках с ЧПУ выполняют чистовую токарную обработку заготовки последовательно с двух сторон. Пазы дисков протягивают. После этого на радиально-сверлильных станках обрабатывают точные (Н7) отверстия в пазах диска, а также отверстия на его ободе.

Отделочная обработка включает тонкое точение посадочных поверхностей диска и элементов уплотнения, выполняемое на станках с ЧПУ, полирование торцев и внутренних поверхностей диска (в особенности, галтелей). Поверхности обода и полостей диска могут подвергать

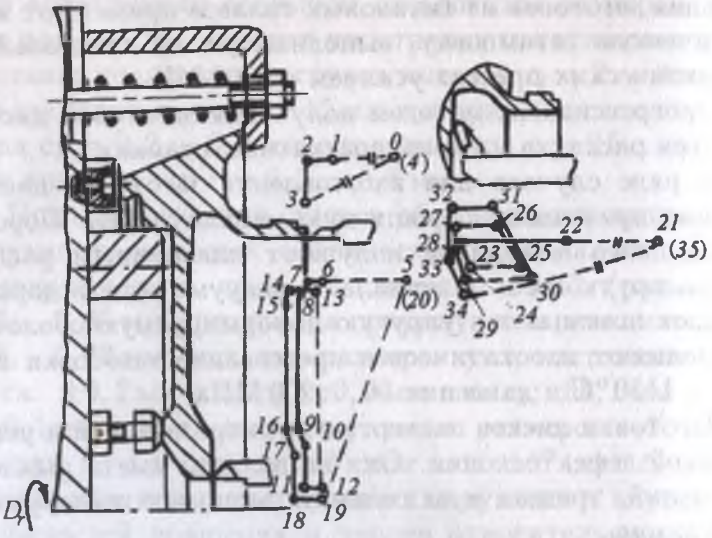


Рис. 5.60. Схема обработки поверхностей диска на токарном станке с ЧПУ

отделочно-упрочняющей обработке (например, гидроабразивной) с последующей промывкой и сушкой.

При изготовлении дисков поверхности вращения сложной геометрической формы обычно обрабатывают в зависимости от типоразмера диска на токарных универсальных, лобовых или карусельных станках с ЧПУ (рис. 5.60). Для предотвращения деформаций диска при обработке в конструкциях приспособлений предусматривают дополнительные (подводимые) опоры, повышающие жесткость установа. При токарной обработке диска частота вращения шпинделя обычно не превышает 20 ... 100 об/мин, а подача при черновой обработке – 0,2 ... 0,4 мм/об.

Обработку элементов уплотнения (см. рис. 5.57, выносной элемент *I*), являющихся легкоповреждаемыми поверхностями, обычно выполняют на токарных станках с ЧПУ фасонным резцом на завершающем этапе ТП. По завершении обработки острые кромки не притупляются.

Пазы под лопатки в дисках протягивают на горизонтально-протяжных станках. Вертикально-протяжные станки из-за трудностей очистки протяжки от стружки и их осмотра перед каждым рабочим ходом менее удобны и поэтому применяются редко. Заготовки дисков при протягивании устанавливают в специальные делительные приспособления. Протяжки изготавливают обычно из быстрорежущих сталей Р18, Р9К5, Р6М5К5, Р12Ф4К5 и др. Выборка массы металла паза выполняется различными сегментами протяжки, подача на один зуб для одного комплекта протяжки может изменяться, например, от 0,02 до 0,07 мм/зуб. Скорость резания при обработке жаропрочных сталей и сплавов обычно составляет $1,5 \ldots 2$ м/мин, а при обработке титановых сплавов достигает $5 \ldots 6$ м/мин. Стойкость комплекта протяжек зависит от формы и размеров пазов, материалов диска и протяжек и может колебаться от $40 \ldots 70$ до $150 \ldots 250$ пазов.

В дисках из труднообрабатываемых материалов пазы выполняют электрофизическими и электрохимическими методами.

На обработанные диски могут наносить различные защитные покрытия с целью увеличения их жаростойкости или защиты от агрессивной внешней среды. Покрытия наносят, например, детонационным напылением порошкового материала или путем химико-термического воздействия (например, оксидирование).

Кулачки (см. рис. 5.58) выполняют функции механических программоносителей в устройствах командоаппаратов различного назначения и предназначены для обеспечения заданного закона движения исполнительного органа с высокой точностью в течение длительного времени. Установку кулачка в определенном угловом положении выполняют с помощью посадочного ($D_в$) и фиксирующего (d) отверстий. Возможны и другие варианты фиксации, например с помощью шпоночного паза, выполняемого в посадочном отверстии.

Основные требования к точности изготовления кулачка приведены на рис. 5.58. Для обеспечения высокой износостойкости периферия (контур) кулачка имеет твердость $HRC_э\,48\ldots56$.

Кулачки изготавливают из конструкционных углеродистых и цементируемых сталей 45, 20Х, 40Х и т.д. Основной тип производства кулачков – мелкосерийное. Основной метод получения заготовок кулачков – вырезка (отрезка) заготовок из листового или круглого проката.

ТП изготовления кулачка включает: токарную обработку торцев, периферии и посадочного отверстия; обработку фиксирующего отверстия на радиально-сверлильном станке; фрезерование контура на станке с ЧПУ; испытания на кинематическую точность; закалку контура ТВЧ; шлифование и слесарную доводку. Фрезерование контура на станке с ЧПУ (рис. 5.61) является основной операцией формообразования кулачка. Заготовку кулачка устанавливают в приспособление, закрепленное на столе станка. Базирование выполняют по посадочной и фиксирующей поверхностям (отверстия с параллельными осями) и перпендикулярной им плоскости торца. Контур обрабатывают концевой фрезой при движении ее центра по траектории, эквидистантной обработанному контуру (точки $2\ldots23$ на рис. 5.61). Применяют концевые фрезы диаметром $D_{фр} = 6\ldots50$ мм. Использование фрез максимально возможного диаметра повышает жесткость технологической системы. Вместе с тем, обработка контура, имеющего внутренние сопряжения, фрезой диаметром $D_{фр} = 2R_{min}$ может привести к возникновению значительных погрешностей в местах резкого изменения траектории. В этом случае качество обработки обеспечивают проведением специальных технологических мероприятий, например геометрической коррекции траектории. Более целесообразна обработка таких контуров фрезами диаметром $D_{фр} = (1,4\ldots1,5)\,R_{min}$, позволяющая, как правило, обеспечить заданное качество без специальных технологических мероприятий. При контурном фрезеровании кулач-

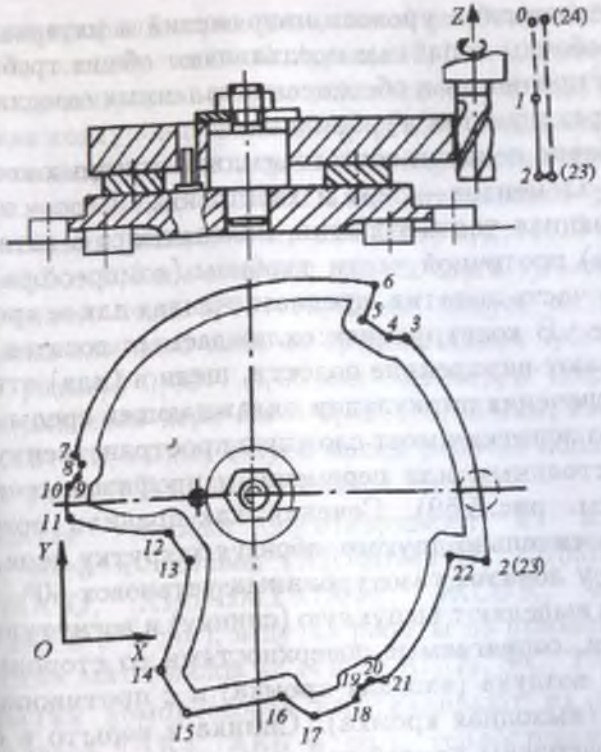


Рис. 5.61. Схема фрезерования контура кулачка на станке с ЧПУ

ков подача фрезы составляет обычно 0,02...0,05 мм/зуб. Подготовку управляющих программ для контурного фрезерования на станках с ЧПУ выполняют с помощью различных систем автоматизированного программирования.

Рабочие лопатки (см. рис. 5.59) являются деталями роторов паровых или газовых турбомашин и при работе непосредственно взаимодействуют с газовым потоком.

Условия работы лопаток сходны с условиями работы дисков. Однако периферийное расположение, ограниченная масса, высокая температура газа в турбине и недостаточная теплопроводность материала приводят к тому, что уровень напряжений в материале рабочих лопаток мо-

жет превосходить уровень напряжений в материале диска. К рабочим лопаткам предъявляют общие требования: высокая прочность и обеспечение заданных газодинамических характеристик турбомашины.

Рабочие лопатки состоят из двух основных конструктивных элементов – пера и хвостовика. Перо – это профилированная часть лопатки, находящаяся в потоке газа (воздуха) проточной части турбины (компрессора). Хвостовик – часть лопатки, предназначенная для ее крепления на диске. В конструкциях охлаждаемых лопаток предусматривают внутренние полости, щели и (или) отверстия для обеспечения циркуляции охлаждающей среды.

Перо лопатки имеет сложную пространственную форму с постоянным или переменным профилем сечений по длине (см. рис. 5.59). Сечения, как правило, повернуты одно относительно другого, образуя закрутку пера, достигающую у лопаток газотурбинных установок 60°. В сечении пера выделяют выпуклую (спинку) и вогнутую (корыто) части, сопрягаемые поверхностями со стороны входа газа или воздуха (входная кромка) и с противоположной стороны (выходная кромка). Спинка и корыто в сечении обычно очерчены кривой переменного радиуса. Профиль пера лопатки, как правило, задают координатами отдельных точек.

Конструктивно рабочие лопатки турбин и компрессоров сходны. Хвостовики рабочих лопаток турбин обычно елочного типа (см. рис. 5.59), а рабочих лопаток компрессоров – типа "ласточкин хвост"; известны и другие типы хвостовиков.

Размеры рабочих лопаток определяются типом турбомашины и ступенью ротора, на которой установлены лопатки.

Основные технические требования к рабочим лопаткам следующие: отклонения контура корыта и спинки пера в расчетных сечениях от заданной формы не более $0,1 \ldots 0,3$ мм для лопаток из деформируемых сплавов и $\pm 0,25$ мм для литых лопаток; отклонения максимальной

толщины профиля пера от заданной не более 0,2 мм; допуск на толщину входной кромки $0,1 \ldots 0,4$ мм; допуск угла закрутки пера в нормальных сечениях $\pm 15'$; допуск смещения контуров спинки и корыта от номинального положения в направлении, перпендикулярном плоскости симметрии хвостовика, $0,2 \ldots 0,5$ мм; отклонения размеров хорды сечения (размер L на рис. 5.59) $0,2 \ldots 0,3$ мм верхнее и $-0,5 \ldots 0,2$ мм нижнее; допуск шага зубьев хвостовика елочного типа $0,04 \ldots 0,02$ мм; допуск на толщину хвостовика елочного типа по средней линии зубьев (посадочный размер) $0,02 \ldots 0,06$ мм; параметры шероховатости поверхностей пера $Ra = 0,32 \ldots 0,63$ мкм, хвостовика $Ra = 1,25 \ldots 2,5$ мкм; допуск массы рабочей лопатки турбины не более 5 % от номинальной массы.

Лопатки турбин изготавливают из жаропрочных сталей и сплавов (ХН70ВМТЮ, ХН55ВМТКЮ, ХН56ВМКЮ, ХН51ВМТЮКФР, ЖС6-К, ЖС6-КП, ЖС26, ЖС6-У и др.); ведутся работы по применению керамических материалов на основе Al_2O_3, SiC, TiC.

Лопатки компрессоров изготавливают из алюминиевых сплавов (АК4, АК6 и др.); теплостойких сталей (30ХГСА, 18ХНВА и др.); титановых сплавов (ВТ3, ВТ10); неметаллических материалов (например, стеклопластики).

Заготовки лопаток из деформируемых сплавов получают горячей объемной штамповкой; выдавливанием (экструзией); прокаткой и вальцеванием.

Штамповку выполняют на ковочных прессах в открытых или закрытых штампах с припуском на механическую обработку $1 \ldots 1,5$ мм на сторону.

Заготовки лопаток с постоянным профилем пера получают методом экструзии, который обеспечивает минимальные припуски и ориентацию структуры материала в направлении оси лопатки. Для получения переменного профиля пера экструдированную заготовку подвергают холодной прокатке с промежуточным отжигом.

Закрутку пера штампованных или экструдированных заготовок лопаток выполняют с помощью ковочных вальцев.

Заготовки лопаток из высоколегированных жаропрочных сталей и сплавов получают литьем по выплавляемым (реже по растворяемым) моделям в высокоогнеупорные керамические формы. Литьем по выплавляемым моделям изготавливают заготовки лопаток турбин с припуском по перу и хвостовику $0,2 \ldots 0,5$ мм и $0,8 \ldots 1,2$ мм на сторону соответственно; параметр шероховатости поверхности пера $Ra = 2,5 \ldots 5$ мкм. Указанным методом получают заготовки охлаждаемых лопаток длиной $10 \ldots 250$ мм и массой более 0,025 кг; с минимальной толщиной стенки $1,5 \ldots 4,0$ мм, имеющие отверстия диаметром более 2 мм.

Литье по растворяемым моделям из мочевины обеспечивает шероховатость поверхности пера $Ra = 1,25 \ldots$ $\ldots 2,5$ мкм.

Все более широкое применение получают методы точного литья с направленной кристаллизацией материала в профильной части лопатки. Из-за отсутствия поперечных границ материал лопаток обладает повышенной пластичностью и жаропрочностью, ресурс их работы увеличивается в $1,5 \ldots 2$ раза. Лопатки длиной $100 \ldots 300$ мм, массой $0,3 \ldots 1,0$ кг отливают на вакуумных установках непрерывного действия. Производительность составляет $140 \ldots 600$ заготовок в сутки.

Благодаря применению специальных затравок может быть сформирована монокристаллическая структура материала лопатки с соответствующей кристаллографической ориентировкой, обеспечивающей оптимальное сочетание механических свойств, что увеличивает ресурс работы лопаток в $2 \ldots 3$ раза.

Технология изготовления рабочих лопаток в зависимости от их конструкции и вида заготовки может существенно различаться. Можно условно выделить технологии изготовления неохлаждаемых рабочих лопаток турбин с длиной пера более 80 мм, неохлаждаемых рабочих лопа-

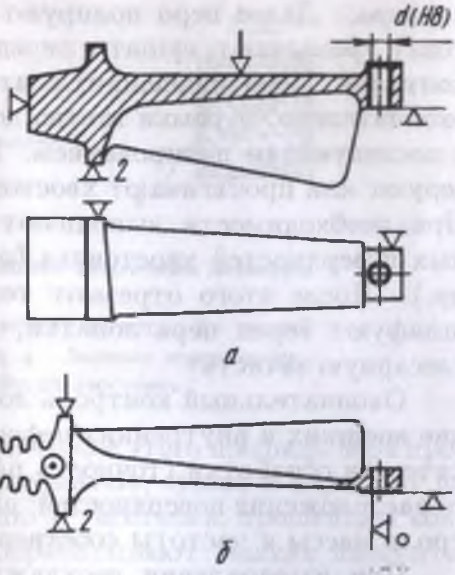


Рис. 5.62. Схемы установки заготовки лопатки при обработке базовых поверхностей (а) и фрезеровании хвостовика (б)

ток с длиной пера от 25 до 80 мм и охлаждаемых рабочих лопаток турбин.

В характерном ТП изготовления рабочей лопатки турбины с длиной пера более 80 мм в качестве исходной заготовки используют штамповку с припуском на сторону по перу 1,5 ... 2,0 мм, а по хвостовику 2,0 ... 2,5 мм.

Процесс начинают с обработки базовых поверхностей на хвостовике и технологической бобышке. Фрезеруют клин и полки хвостовика; сверлят, зенкеруют и развертывают отверстие в бобышке. Обработку указанных поверхностей выполняют за несколько операций или в одной операции, например на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ (рис. 5.62, *а*). Далее фрезеруют торец хвостовика, входную и выходную кромки. Клин хвостовика фрезеруют или протягивают.

Профиль спинки и корыта обрабатывают электрохимическим методом с базированием заготовки по плоскостям хвостовика и поверхностям технологической бобышки. Шлифование профиля спинки и корыта выполняют абразивной лентой. Шлифуют входную и выходную кром-

ки пера. Далее перо полируют и протравливают, заготовку промывают, сушат и передают на люминисцентный контроль. Перо прошедших контроль заготовок полируют окончательно. Кромки можно дополнительно шлифовать с последующим полированием. Затем окончательно фрезеруют или протягивают хвостовик лопатки (рис. 5.62, *б*). При необходимости выполняют обработку второстепенных поверхностей хвостовика (отверстия, мелкие пазы и др.). После этого отрезают технологическую бобышку, шлифуют торец пера лопатки, выполняют необходимую слесарную зачистку.

Окончательный контроль лопатки включает: выявление внешних и внутренних дефектов материала; проверку качества обработки (точность размеров, формы, взаимного расположения поверхностей; шероховатость и т.д.); контроль массы и частоты собственных колебаний лопатки.

При изготовлении неохлаждаемых рабочих лопаток турбин с длиной пера 25 ... 80 мм в качестве исходной заготовки используют точную штамповку с припуском на сторону 0,5 ... 0,8 мм по перу и 0,8 ... 1,0 мм по хвостовику.

ТП в этом случае начинают с фрезерования входной и выходной кромок. После этого в специальном контрольно-измерительном устройстве лопатку ориентируют таким образом, чтобы обеспечить равномерный припуск на последующую обработку пера, и в этом положении заливают лопатку легким сплавом (например, сплавом Вуда) или полимером в металлическую кассету (рис. 5.63). Проводят полную обработку поверхностей хвостовика фрезерованием и шлифованием, после чего сплав выплавляют и лопатку удаляют из кассеты.

Перо можно также обрабатывать электрохимическим методом. Заготовку устанавливают по обработанным поверхностям хвостовика в специальные приспособления, имитирующие закрепление лопатки в диске. У заготовок, изготовленных литьем по выплавляемым моделям, обработку пера ограничивают электролитическим или гидро-

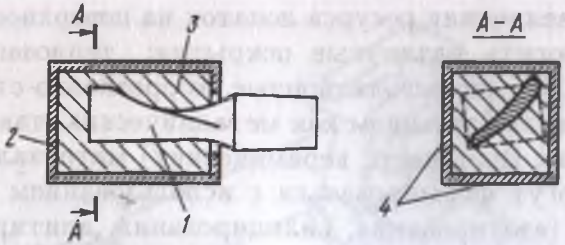


Рис. 5.63. Установка заготовки лопатки в кассету:
1 – заготовка; *2* – корпус кассеты; *3* – легкий сплав или полимер; *4* – базовые поверхности для обработки хвостовика

абразивным полированием. После этого профиль пера протравливают, заготовку промывают, сушат и передают на люминисцентный контроль. У заготовки, прошедшей контроль, полируют перо, обрабатывают мелкие элементы проточной части, после чего ее передают на окончательный контроль.

Исходными заготовками рабочих охлаждаемых лопаток турбин являются отливки, полученные литьем по выплавляемым (растворяемым) моделям. Внутренние полости получают с использованием керамических стержней, которые затем растворяют.

ТП изготовления лопатки начинают со шлифования и полирования полок и торцев хвостовика на плоскошлифовальных станках. Выполняют люминисцентный контроль. Фрезеруют клин, а затем фрезеруют или протягивают профиль хвостовика. Торец хвостовика шлифуют. Фрезеруют полки и другие поверхности хвостовика. Шлифуют и полируют бандажные полки. Полируют профиль пера лопатки. Отверстия, например для подвода охлаждающего воздуха к входной кромке, в зависимости от их диаметра изготавливают механической обработкой, электрохимическим (струйным) методом, электронно-лучевой или лазерной обработкой. С целью удаления из внутренней полости лопатки остатков материала стержня заготовку подвергают ультразвуковой "промывке" на стенде.

Для увеличения ресурса лопаток на поверхность пера могут наносить различные покрытия: теплозащитные, жаростойкие, теплоизоляционные, коррозионно-стойкие и другие, с использованием как металлических, так и неметаллических (например, керамических) материалов. Покрытия могут формироваться с использованием методов диффузии (азотирования, силицирования, алитирования) или напылением, гальваническим осаждением, испарением и конденсацией. Покрытия наносят, как правило, после чистовой обработки пера.

Основной технологической задачей при изготовлении рабочих лопаток является обеспечение заданного качества поверхности пера.

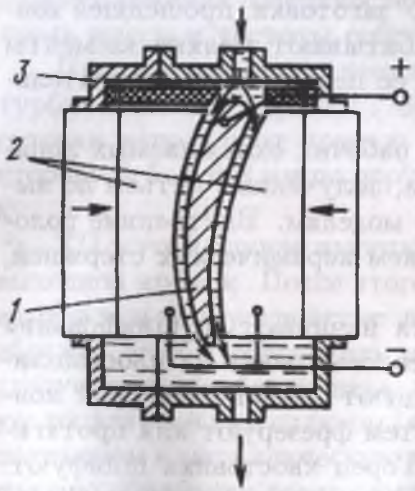


Рис. 5.64. Схема электрохимической обработки пера лопатки

Поверхность пера лопаток длиной более 80 мм часто обрабатывают электрохимическим методом (рис. 5.64), основанным на явлении растворения поверхности анода при электролизе. Поверхность пера лопатки *1* (анод) помещена между двумя профильными электродами *2* (катод), являющимися негативными отпечатками спинки и корыта. Зазор между профильными поверхностями электродов и обрабатываемой поверхностью заготовки автоматически поддерживается в пределах $0,2 \ldots 0,3$ мм. Процесс протекает в закрытой ванне (корпусе) *3*, заполненной электролитом, например $10 \ldots 15$ %-ным раствором NaCl. На рис. 5.64 стрелками показана циркуляция электролита. Струя электролита, двигаясь с большой ско-

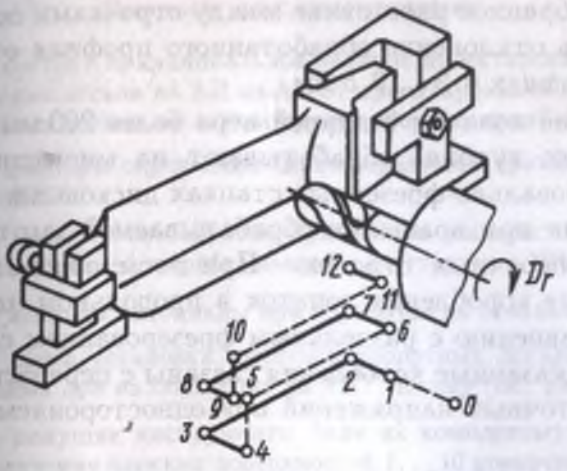


Рис. 5.65. Схема фрезерования пера лопатки на станке с ЧПУ

ростью (15 ... 20 м/с) в зазоре между катодами (электродами) и анодом (лопаткой) при пропускании тока большой плотности (для жаропрочных сплавов 15 ... 20 А/см^2 и более), растворяет металл заготовки. Обработку выполняют на электрохимических станках при напряжении 12 ... 16 В, температуре электролита 20 ... 30 °С и давлении 0,2 ... 0,5 МПа. Отклонение размеров профиля обеспечивается в пределах 0,3 ... 0,4 мм, параметр шероховатости поверхности пера $Ra = 1,25 \ldots 2,5$ мкм.

Перо лопатки может быть также обработано контурным фрезерованием, например на станке с ЧПУ (рис. 5.65). Заготовку устанавливают и закрепляют в приспособлении на столе станка. Обработку выполняют концевой фрезой по автоматическому циклу, фрагмент которого изображен на рис. 5.65, при одновременном управлении по трем координатным осям станка. Такой вид контурного фрезерования объемных деталей называют фрезерованием продольными строчками. Применяемые концевые фрезы имеют сферическую форму торца. Для обработки лопаток выпускают специализированные фрезерные станки с ЧПУ. Пра-

вильно выбранное расстояние между строчками позволяет обеспечить отклонение обработанного профиля от заданного в пределах $0,3 \ldots 0,5$ мм.

Рабочие лопатки с длиной пера более 200 мм (лопатки паровых турбин) обрабатывают на многошпиндельных копировально-фрезерных станках дисковыми угловыми фрезами при вращении обрабатываемой заготовки по методу поперечных строчек. При этом обеспечивается уменьшение коробления лопаток в продольном направлении по сравнению с раздельным фрезерованием спинки и корыта. Указанные коробления связаны с перераспределением остаточных напряжений при одностороннем снятии припуска.

Чистовую обработку пера лопаток, как правило, проводят шлифованием абразивной лентой на копировальных ленточно-шлифовальных станках. Шлифование спинки и корыта пера может выполняться раздельно или одновременно. Абразивная лента, режущий слой которой обращен к заготовке, протягивается между заготовкой и копиром, прижимающим ленту к заготовке. При шлифовании жаропрочных сталей и сплавов скорость ленты составляет около 25 м/с. Обеспечивается параметр шероховатости пера $Ra = 0,63 \ldots 0,25$ мкм.

Для отделочной обработки профиля пера применяют виброконтактное и гидроабразивное полирование, виброабразивную обработку, электролитическое полирование, а также методы поверхностного пластического деформирования.

Основной тенденцией технологии изготовления рабочих лопаток турбин следует считать стремление к отказу от обработки профиля пера лезвийным инструментом или электрохимическим методом. Совершенствование технологии изготовления заготовок, например литьем по выплавляемым моделям, позволяет получать заготовки высокого качества, для которых можно ограничиться шлифованием или даже только полированием пера.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит принципиальное отличие проектирования ТП изготовления детали на АЛ из АС от проектирования процесса изготовления детали на любом другом оборудовании?
2. Какие факторы определяют целесообразность применения станков с ЧПУ?
3. Какие имеются особенности при оценке технологичности конструкции деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ?
4. Какие имеются автоциклы при обработке на станках с ЧПУ?
5. Какая схема установки заготовок корпусных деталей наиболее приемлема при их обработке на АЛ? Почему (см. рис. 5.19)?
6. Какие режущие инструменты (или их комплекты) применяют для получения плоских поверхностей 1. . . 10 корпусных деталей, показанных на рис. 5.22?
7. Для чего необходим "завал" торцевой фрезы при обработке плоскостей на АЛ и АС? Можно ли использовать "завал" фрезы на станке с ЧПУ?
8. В каких случаях применяют двухопорное (трехопорное) направление борштанги при изготовлении отверстий в заготовках, обрабатываемых на АЛ и АС?
9. Укажите диапазон диаметров сверл, направляемых кондукторными втулками. Какова длина кондукторных втулок?
10. Какими технологическими приемами обеспечивают допуски соосности ступеней (шеек) вала относительно его общей оси?
11. Чем характеризуют жесткость конструкции вала? В чем особенности изготовления валов нежесткой конструкции?
12. Какие технологические базы применяют при изготовлении рычагов и шатунов?
13. Укажите наиболее важные технологические задачи производства шатунов и рычагов.
14. Скольких степеней свободы нужно лишить заготовку корпусной детали при обработке: а) одной плоскости, б) двух взаимноперпендикулярных плоскостей, в) двух отверстий в одной стенке, г) двух отверстий в двух взаимноперпендикулярных стенках? Каким образом схема установки зависит от применяемого станка?

15. Зачем необходима термообработка заготовок корпусных деталей: а) нормальной точности, б) прецизионных?

16. В чем состоят трудности изготовления сложнопрофильных деталей?

17. Каковы особенности контроля фасонного профиля лопаток?

Глава 6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СБОРКИ МАШИН

6.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СБОРКИ ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Качество сборки машин и механизмов определяется качеством сборки узлов и соединений, входящих в конструкцию, поэтому в ТП важно выбрать не только методы сборки отдельных соединений и узлов, но и последовательность их выполнения. Эта задача облегчается при использовании типовых процессов сборки характерных узлов. Закономерности и технологические особенности сборки характерных соединений, таких как соединения с натягом, резьбовые и другие, рассмотрены в первом томе настоящего учебника (см. 6.3) и используются при изложении процессов сборки типовых узлов: зубчатых передач, узлов с подшипниками качения или скольжения и др.

6.1.1. Сборка узлов с подшипниками качения

Установленные в машинах валы с подшипниками качения должны легко вращаться, иметь радиальное и осевое биение в заданных пределах и занимать точное положение относительно основных баз корпуса. Выполнение этих требований зависит от правильности выбора посад-

ки подшипников на вал и в корпус, от точности обработки посадочных мест валов и корпусов. Выбор посадок и требований к посадочным поверхностям является задачей конструктора.

Легкое вращение и долговечность подшипников зависят от зазоров между телами качения, внутренним и наружным кольцами. Радиальные зазоры бывают начальными, посадочными и рабочими. При установке подшипника на вал или в корпус изменяются диаметры внутреннего и наружного колец подшипника, а следовательно, и радиальный зазор. В процессе работы происходит нагрев колец подшипника и радиальный зазор также изменяется. Поэтому при сборке важно обеспечить максимальное приближение посадочного радиального зазора к его расчетному значению. Так как в процессе работы подшипника вращающееся кольцо имеет равномерный износ, то его устанавливают на вал или в корпус с гарантированным натягом. Невращающееся кольцо при такой посадке будет иметь неравномерный износ по окружности, поэтому для него выбирают переходную посадку, обеспечивающую возможность его проворота в процессе работы.

Сборка подшипниковых узлов состоит из следующих операций: расконсервация подшипников, их контроль, установка подшипников на вал или в корпус, установка вала в корпус.

Расконсервацию подшипников проводят в 6 %-ном растворе масла, бензине или в горячих (75 . . . 85 °С) антикоррозийных растворах, например, следующего состава, %: триэтаноламин 0,5 . . . 1,0, нитрат натрия 0,15 . . . 0,2, смачиватель 0,02 . . . 0,1, остальное вода.

Подшипники на вал или в корпус для сборочных единиц нормальной точности устанавливают прессованием по посадке с натягом. Более точный радиальный зазор в подшипнике обеспечивает сборка с нагревом подшипника и охлаждением вала. Подшипник нагревают в масляной ванне при 80 . . . 120 °С в течение 15 . . . 20 мин. Вал охлаждают в жидком азоте до −190 °С.

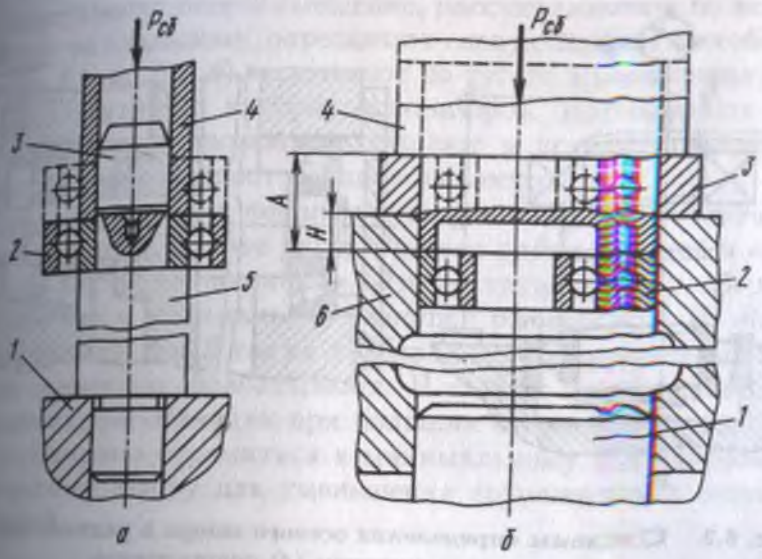


Рис. 6.1. Схемы напрессовки подшипника на вал (*а*) и запрессовки в корпус (*б*):
1 – ориентирующий элемент; *2* – подшипник; *3* – направляющий элемент; *4* – шток пресса; *5* – вал; *6* – корпус

В процессе запрессовки подшипника на вал или в корпус необходимо использовать специальные приспособления (рис. 6.1), имеющие направляющие и ориентирующие элементы. Силу запрессовки $P_{сб}$ определяют по формуле

$$P_{сб} = \frac{ifE\pi B}{2N},$$

где i – расчетный натяг, мм; f – коэффициент трения; E – модуль упругости, Па; B – ширина кольца подшипника, мм; $N = 1/(1 - d/d_0)^2$; $d_0 \simeq d + (D - d)/4$; d – диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника, мм; D – наружный диаметр подшипника, мм.

Подшипники малых размеров в прецизионных изделиях целесообразно устанавливать на вал или в корпус методом ультразвуковой запрессовки*, так как нагрев подшип-

* Описание метода дано в гл.6 тома 1 настоящего учебника.

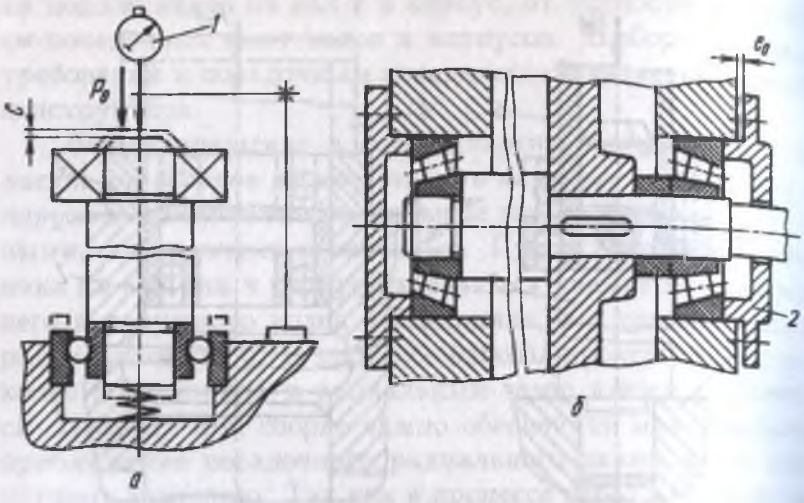


Рис. 6.2. Схемы определения осевого зазора в радиальном (*а*) и радиально-упорном (*б*) подшипниках

ника или охлаждение вала не обеспечивают необходимого изменения диаметра для создания монтажного зазора.

Очень важно измерить и обеспечить радиальный зазор в подшипнике. Его определяют по осевому зазору в радиальном подшипнике. Вал с подшипниками устанавливают в приспособлении (рис. 6.2, *а*). Измерения производят до и после приложения силы P_0. Разность показаний индикатора *1* дает значение осевого зазора C. Радиальный зазор δ находят из формулы

$$C = 2\sqrt{(2r + d_{ш})\,\delta},$$

где r – радиус желоба, мм; $d_{ш}$ – диаметр шарика, мм.

Радиальный зазор в коническом роликовом подшипнике регулируют осевым смещением наружного кольца на величину e, которая связана с радиальным зазором соотношением

$$\delta = 2e\ \mathrm{tg}\,\beta,$$

где β – угол наклона ролика, град.

Практически осевое смещение, рассчитанное по необходимому радиальному, определяют следующим способом. Крышку *2* (рис. 6.2, *б*) затягивают до тугого вращения вала, что гарантирует выборку всех зазоров. Измеряют зазор e_0. Крышку снимают, подбирают и устанавливают прокладку и возвращают крышку на место.

При сборке блока подшипников (рис. 6.3) *необходимо обеспечить равномерное распределение радиальной и осевой нагрузок по подшипникам.* Это достигается подбором подшипников с минимальной разницей размеров B. Распорные втулки *1* и *2* также подбирают по размерам A и A_1 или совместно обрабатывают. В узлах с подшипниками качения, работающих при больших скоростях вращения, необходимо стремиться к минимальному (нулевому) радиальному зазору для уменьшения возможных осевых колебаний.

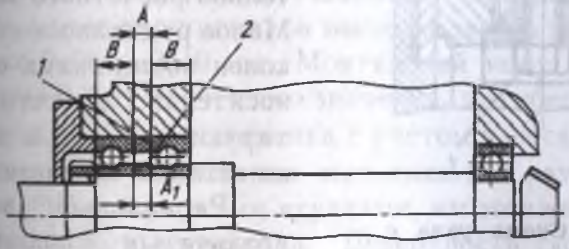


Рис. 6.3. Схема узла со спаренными подшипниками качения

При установке вала в разъемный корпус из-за погрешностей формы гнезд под подшипник в корпусе или крышке возникает необходимость их пригонки. Ее производят пришабриванием по пятну контакта с подшипником. Для получения пятна контакта подшипник смазывают краской, устанавливают вал в корпус и накрывают крышкой без затяжки крепежных деталей. Пришабривание позволяет получить более полное прилегание подшипника и равномерную деформацию кольца подшипника в радиальном направлении в процессе затяжки крепежных деталей.

В конструкциях, которые предусматривают регулировку осевого смещения резьбовыми деталями, зазор δ в подшипниках создают затяжкой резьбовой детали с силой, обеспечивающей выборку осевых зазоров. Затем деталь отворачивают на угол $\varphi = 360^\circ \cdot \delta/p$, где p – шаг резьбы, мм.

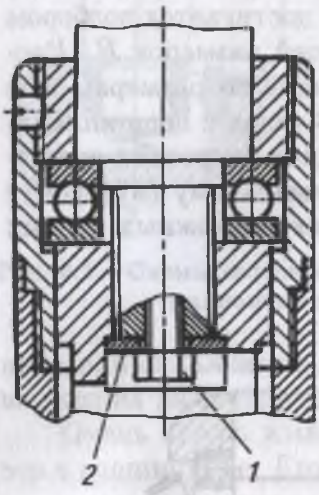


Рис. 6.4. Схема узла с упорным подшипником

В упорных подшипниках необходимо обеспечить нулевой осевой зазор между шариками и кольцами подшипника. Регулировку зазора производят шайбой *2* и затяжкой болта *1* (рис 6.4). Сила затяжки резьбовой детали должна иметь небольшую погрешность относительно расчетного значения. Малое радиальное смещение колец подшипника одно относительно другого гарантируют точностью обработки деталей, входящих в узел.

Радиальный зазор в игольчатых подшипниках больше, чем в остальных, и равен $0,02 \ldots 0,13$ мм. Сборку узлов с игольчатыми подшипниками начинают с подбора тел качения по размеру наружного диаметра и длине. Точность подбора не более 0,005 мм по диаметру и 0,1 мм по длине. После подбора тел качения наружное кольцо подшипника устанавливают в корпус, а внутреннее – на вал. При помощи технологической оправки *1* (рис. 6.5) тела качения размещают в наружном кольце подшипника. Фиксацию роликов производят консистентной смазкой. После этого устанавливают вал, заменяя им технологическую оправку. В осевом направлении игольчатые подшипники фиксируют ограничительными кольцами.

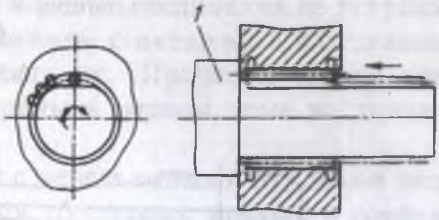


Рис. 6.5. Схема сборки игольчатого подшипника

После сборки узлы с подшипниками качения проверяются на легкость вращения и при необходимости на радиальное биение.

6.1.2. Сборка узлов с подшипниками скольжения

Надежная работа подшипников скольжения обеспечивается правильным подбором диаметрального зазора между валом и корпусом подшипника. Для распространенных размеров подшипников значение зазора колеблется в пределах $0,06 \ldots 0,10$ мм. Монтажный зазор составляет примерно 0,3 от расчетного значения, что обеспечивает устойчивую работу подшипника с учетом износа.

Подшипники скольжения выполняют с разъемными и неразъемными корпусами-втулками, изготовленными из антифрикционного материала. Поверхность скольжения имеет точность диаметрального размера $IT6$ и шероховатость $Ra = 0,4 \ldots 0,8$ мкм.

Неразъемные вставные втулки могут быть с осевой фиксацией и без нее. Осевую фиксацию обеспечивают штифтом или буртом. Втулку устанавливают в отверстие по посадке с натягом H7/п6 или H7/к6. Возникающие при сборке деформации изменяют внутренний диаметр втулки. Поэтому *для обеспечения требуемой точности необходима отделочная обработка внутреннего диаметра.* ТП сборки подшипников скольжения с неразъемными втулками состоит из установки втулки в отверстие, обработки отверстия и сопряжения собранной единицы с валом или осью в изделии.

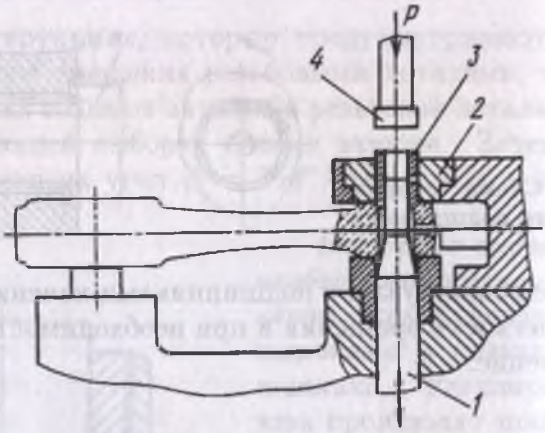


Рис. 6.6. Схема запрессовки втулки:
1, 2 – направляющие элементы; *3* – втулка; *4* – шток пресса

Втулку в отверстие по посадке с натягом устанавливают продольным прессованием или при нагреве охватывающей детали. Ввиду малой жесткости втулки возможна потеря ее устойчивости при запрессовке. Чтобы избежать деформаций и даже поломок втулки, применяют специальные приспособления. Например, при запрессовке втулки в малую головку шатуна двигателя внутреннего сгорания используют приспособление с ориентирующими и направляющими элементами *1* (рис. 6.6). При наличии в отверстии и во втулке отверстия под штифт или смазку необходимо при запрессовке обеспечить ориентацию втулки относительно отверстия. Из-за малой толщины стенок прочность фиксации втулки в отверстии часто оказывается недостаточной. Поэтому втулку после запрессовки развальцовывают дорнованием или раскаткой. Во многих конструкциях установку втулки с натягом можно заменить посадкой втулки в отверстие на клей. При этом втулку с нанесенным клеем устанавливают в отверстие по посадке с зазором, что снижает необходимую силу $P_{сб}$ и уменьшает вероятность деформации втулки из-за перекосов в процессе сборки. Внутренний диаметр втулки при этом практически не меняется и обработка его после сборки не

требуется. По прочности клеевые соединения не уступают для таких деталей соединениям с натягом, а в отдельных случаях могут превосходить их. Процессы сборки клеевых соединений рассмотрены в первом томе настоящего учебника (см. гл. 6).

Оси и валы в детали с неразъемными втулками необходимо устанавливать при сборочных зазорах в соединении. Увеличение зазора обеспечивают охлаждением оси или вала в жидком азоте. Нагрев детали со втулкой недопустим, так как может нарушиться прочность соединения втулки с отверстием. Сборку выполняют в специальных приспособлениях с технологическими скалками, ориентирующими сопрягаемые поверхности между собой. В качестве примера можно привести операцию сборки шатуна поршня и шатунного пальца.

В современных конструкциях неразъемные втулки часто заменяют полимерными материалами, которые заливают в отверстие. Полимерные материалы (например, фторопласт) образуют с деталью неразъемное соединение и могут работать в условиях сухого трения при соответствующих материалу скоростях вращения. После заливки отверстие обрабатывают до требуемой точности и шероховатости.

Разъемные втулки подшипников получают из ленты, покрытой антифрикционным сплавом, или изготавливают литыми, например из свинцовистой бронзы. Вкладыши из ленты получают отрезкой ленты и гибкой. Цилиндрические поверхности литых вкладышей обрабатывают с точностью по $IT6$ и проверяют правильность формы с помощью специального эталона по краске.

Вкладыши устанавливают в разъемное отверстие с натягом. Натяг обеспечивают увеличением размера одного из вкладышей и его выступанием над плоскостью разъема (рис. 6.7, *а*) на величину h. Размер h связан с натягом соотношением

$$i = 4h/\pi,$$

где i – расчетный натяг, мм.

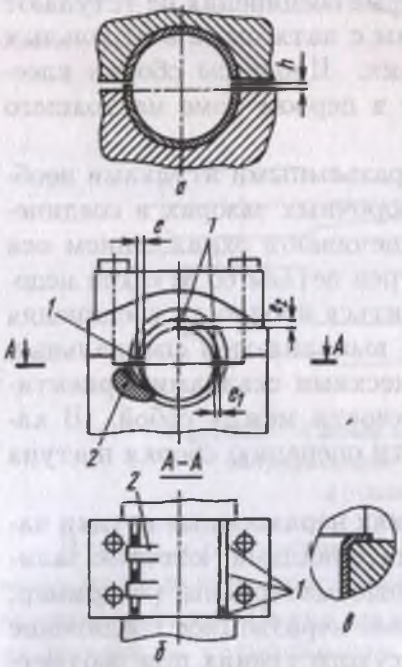


Рис. 6.7. Схемы контроля правильности установки вкладышей:
а – контроль натяга; *б* – контроль зазора; *в* – вариант крепления вкладыша

Крепление вкладышей в отверстии производят отгибом в пазы *2* (рис. 6.7, *б*), отбортовкой кромки (рис 6.7, *в*) или штифтами. Зазор между валом и вкладышем обеспечивают пригонкой внутренних поверхностей вкладышей по валу шабрением по пятнам контакта. Шабрение можно исключить точным изготовлением вкладышей. Величину зазора в подшипнике определяют щупом или с помощью свинцовых проволочек. Метод проволочек точнее, так как позволяет определить изменения зазора по длине соединения. Проволочки *1* располагают (см. рис. 6.7, *б*) по образующей вала и кромкам втулки. Соединение затягивают, затем разбирают. Микрометром проверяют толщину проволочек. По разности среднеарифметических толщин определяют действительный диаметральный зазор

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} e_{2i}}{n_2} - \frac{1}{2}\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{n_1} e_{1i}}{n}\right),$$

где e_{2i} – толщина оттисков, уложенных на вал; e_i и e_{1i} – толщины оттисков в разъеме вкладышей; n, n_1, n_2 – число

соответствующих проволочек. Если $\delta < \delta_{min}$, то производят шабрение вкладышей, если же $\delta > \delta_{max}$, то подгоняют плоскость разъема. В обоих случаях снимают слой металла, равный разнице расчетного и фактического зазоров. На величину зазора оказывает влияние разброс силы затяжки стыка, который не должен превышать 5 % от ее расчетного значения.

Осевой зазор в подшипниках скольжения выдерживают в пределах $0,1 \ldots 0,8$ мм. Радиус галтели вкладыша должен быть больше радиуса галтели вала.

После сборки узел подшипника скольжения прирабатывают сначала на малых оборотах и небольших нагрузках, подавая в них смазку. Во время приработки следят за температурой подшипников. Повышение температуры свидетельствует о некачественной сборке.

6.1.3. Сборка узлов с подвижными цилиндрическими соединениями

К подвижным цилиндрическим соединениям относятся цилиндрические направляющие технологического оборудования, поршневые соединения пневмо- и гидроцилиндров, поршневые пары двигателей внутреннего сгорания, золотниковые соединения.

ТП сборки направляющих зависит от требований к их точности. Жесткие технические требования к конструкции блока штампов требуют высокой точности обработки входящих в узел деталей и высокого качества их сборки. Существующий ТП сборки включает следующие операции: запрессовку колонок в нижнюю плиту, установку втулок в верхнюю плиту на клей, установку верхней плиты в сборе на колонки, выдержку до полимеризации клея, контроль плавности и точности перемещения верхней плиты (рис. 6.8, *а*).

Для обеспечения требования перпендикулярности колонок относительно плиты при запрессовке колонок необходимо использовать специальную технологическую

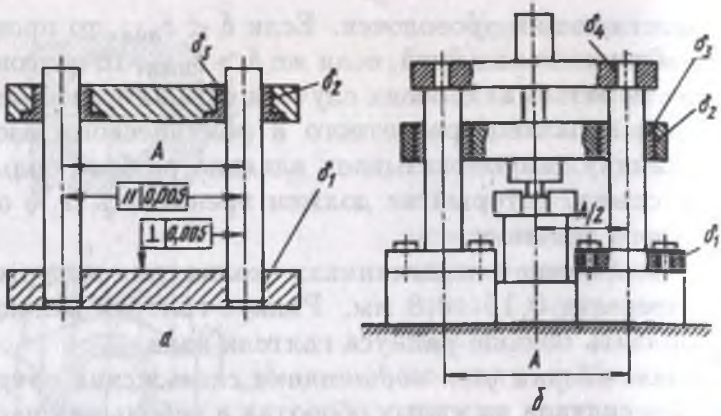


Рис. 6.8. Сборочные единицы с цилиндрическими направляющими

оснастку. Однако и в этом случае процесс запрессовки не обеспечивает стабильного качества соединения. Установка втулок в верхнюю плиту на клей обусловлена необходимостью компенсации погрешности межосевого расстояния A по длине колонок. Данный ТП сборки не позволяет использовать в конструкции минимальный зазор δ_3, необходимый из условий работы изделия. Уменьшить трудоемкость изготовления плит можно с помощью современных технологий сборки клеевых соединений и новых марок клеев. ТП в этом случае включает: постановку колонок в нижнюю плиту на клей, установку втулок в верхнюю плиту на клей, сопряжение в специальном приспособлении верхней плиты с колонками, выдержку до полимеризации клея. Применение зазора δ_1 вместо натяга допускает снижение точности обработки отверстий в плитах, а также точности межосевого расстояния A между посадочными отверстиями. Требования к параллельности колонок и перпендикулярности их плите обеспечивают конструкцией сборочного приспособления или специальными способами сборки клеевых соединений. Зазор в подвижном соединении δ_3 может быть минимальным.

Сборка направляющих технологического оборудования (рис. 6.8, *б*) выполняется в следующей последователь-

ности: сборка подвижной плиты со втулками по посадке с натягом, сборка колонок с опорами по посадке с натягом, установка колонок на станине с фиксацией, позволяющей их перемещение, установка подвижной плиты на колонки, установка верхней плиты на колонки по посадке с зазором, регулировка межосевого расстояния A подвижной плитой и закрепление колонок и верхней плиты резьбовыми деталями, а затем штифтами. Данная конструкция и ТП обеспечивают оптимальный зазор δ_3 в подвижном соединении за счет увеличения зазоров δ_1 и δ_4.

Сборку подвижного цилиндрического соединения поршень – цилиндр рассмотрим на примере двигателя внутреннего сгорания. Зазор между поршнем и цилиндром должен быть в пределах $5 \ldots 30$ мкм. Для обеспечения такой точности гильзы цилиндров и поршни сортируют по диаметру юбки на $4 \ldots 6$ групп с точностью $5 \ldots 10$ мкм. Процесс сборки включает: установку колец на поршень, контроль и сортировку поршней на группы, установку поршня в цилиндр. Поршневые кольца обеспечивают герметичность камеры сгорания от картера двигателя, передают давление газа вместе с поршнем на кривошипно-шатунную группу, ограничивают перекос поршня в цилиндре, снижают коэффициент трения.

Поршневое кольцо устанавливают в канавку поршня по посадке с зазором $0,05 \ldots 0,32$ мм в зависимости от марки двигателя. В массовом производстве точность сопряжения (необходимый зазор) обеспечивают методом полной взаимозаменяемости, в опытном производстве – притиркой колец на плите. Поршень с кольцами устанавливают в гильзу цилиндров (рис. 6.9) с применением оправки *1*, предохраняющей кольца *2* от поломки. При этом кольца должны располагаться замками в разные стороны.

Сборку прецизионных плунжерных и золотниковых подвижных соединений начинают с тщательной промывки сопрягаемых поверхностей. Зазор в таких соединениях не превышает $5 \ldots 10$ мкм. При таких зазорах на процесс сопряжения оказывают влияние погрешности формы. Тре-

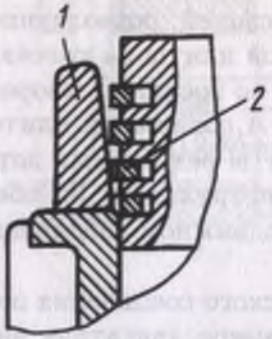


Рис. 6.9. Схема установки поршня в цилиндр



Рис. 6.10. Боковой зазор C_0 в зубчатой передаче

буемая точность в прецизионных соединениях может быть получена притиркой или комбинацией двух методов: разбивкой поля допусков размеров на группы и притиркой. Сборку плунжерных пар осуществляют в термоконстантных цехах с повышенной чистотой воздуха.

6.1.4. Сборка зубчатых и червячных передач

Важным фактором, оказывающим влияние на работу зубчатой передачи, является боковой зазор C_0 (рис. 6.10) между зубьями колес. На величину зазора оказывают влияние многие факторы: погрешность межосевого расстояния, погрешности изготовления корпусов редукторов, валов и самих зубчатых колес, а также тепловые деформации в процессе работы. Для нормальной работы зубчатого соединения зазор должен быть равен нулю. Но из-за множества факторов, перечисленных выше, приходится обеспечивать минимальный, обоснованный работой передачи зазор. В зависимости от этого установлены 12 степеней точности зубчатых колес. Наиболее часто в машиностроении применяют степени точности с 6 по 9. В процессах сборки зубчатых и червячных соединений необходимо учи-

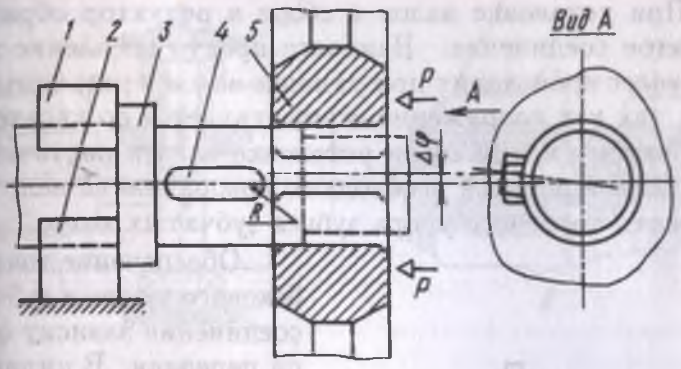


Рис. 6.11. Схема установки зубчатого колеса на вал:
1 – прижимная призма; *2* – опорная призма; *3* – вал; *4* – шпонка; *5* – зубчатое колесо

тывать погрешности обработки собираемых деталей и их взаимное влияние на окончательную точность бокового зазора.

Сборка зубчатых и червячных передач включает две типовые операции для всего разнообразия конструкций: установку зубчатого колеса на вал и установку "валов в сборе" в корпус редуктора.

Процесс установки зубчатого колеса на вал зависит от типа крепления на нем колеса. Наиболее часто встречается установка колеса на шпонку с переходной посадкой по диаметру вала. Установку колеса на вал с призматической шпонкой осуществляют в приспособлении прямым прессованием. Погрешность положения $\Delta\varphi$ (рис. 6.11) шпоночного паза относительно шпонки хорошо компенсируется радиусом скругления R на торце шпонки. Сегментные шпонки имеют фаски $0,2 \ldots 0,5$ мм, поэтому компенсация погрешности $\Delta\varphi$ затруднена. Напрессовку колеса на вал с сегментной шпонкой проводят в два этапа: сначала напрессовывают колесо без шпонки примерно до середины шпоночного паза, затем устанавливают шпонку и допрессовывают колесо. При установке шпонки погрешность $\Delta\varphi$ компенсируется поворотом колеса.

При установке валов в сборе в редуктор образуется зубчатое соединение. Наиболее просто сцепление зубчатых колес происходит при укладке валов в разъемные корпуса, так как сопряжение осуществляется по касательной к зубчатому венцу. При установке вала в расточки корпуса осевой подачей необходимо поворачивать вал, чтобы избежать торцевого упора зубьев зубчатых колес.

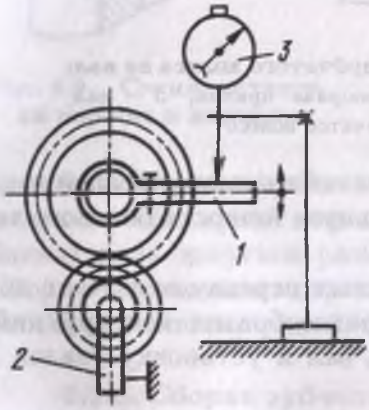


Рис. 6.12. Схема контроля бокового зазора в зубчатом соединении

Обеспечение точности бокового зазора в зубчатом соединении зависит от типа передачи. В цилиндрических зубчатых соединениях 7-й степени точности и грубее необходимый боковой зазор обеспечивают при использовании метода полной взаимозаменяемости. Для более точных передач необходима притирка зубчатых колес после их обработки. Притирку осуществляют на специальных станках. После притирки зубчатые колеса маркируют и передают на сборку. Боковой зазор в собранном зубчатом соединении можно определить, если вал одного из колес закрепить приспособлением *2*, а на вал второго колеса одеть оправку *1* (рис. 6.12). Разность показаний индикатора *3* при покачивании оправки, отнесенная к радиусу делительной окружности, будет равна боковому зазору в соединении. Опорой индикатора *3* и приспособления *2* может быть корпус редуктора. Средний зазор можно определить, проведя несколько измерений по окружности. Окончательный контроль зубчатого соединения производят по пятну контак-

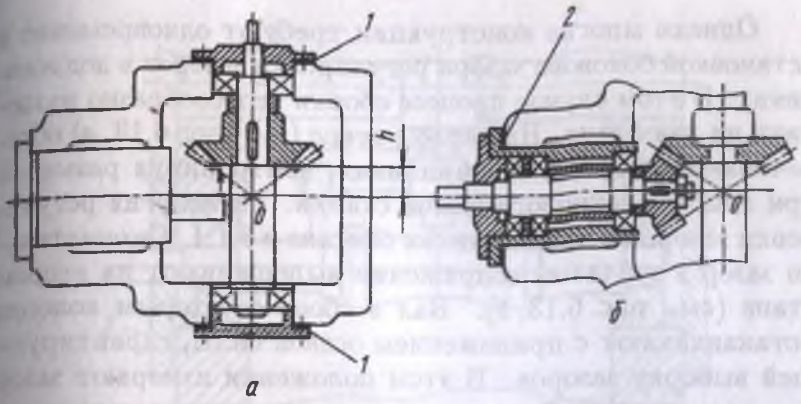


Рис. 6.13. Сборка конической зубчатой передачи

та. На зубья одного из колес наносят краситель и проворачивают зубчатые колеса. Пятна контакта должны располагаться равномерно по поверхности зуба, занимая не менее 60 % его площади. По смещению пятна в ту или иную сторону можно судить о погрешностях соединения. Количественную оценку погрешности в этом случае можно получить специальными измерениями.

В конических зубчатых передачах боковой зазор регулируют в процессе сборки. При правильном зацеплении образующие конусы делительных окружностей обоих колес сходятся в одной точке O (рис. 6.13). Однако погрешности обработки и сборки приводят к осевому смещению вершин и перекосу осей конусов во всех трех плоскостях. В процессе сборки возможно регулирование только осевого смещения при помощи прокладок.

На практике регулировку осуществляют следующим образом. Сборочные единицы с зубчатыми колесами (см. рис. 6.13) устанавливают в корпус без прокладок *1* и *2* и добиваются совмещения делительных конусов зубчатых колес, осуществляя контроль зацепления по пятну контакта. После получения нормального сопряжения измеряют необходимую толщину прокладок, подбирают и устанавливают прокладки и затягивают крепежные детали крышек.

Однако многие конструкции требуют одновременно с установкой бокового зазора регулировки зазоров в подшипниках. В этом случае процесс сборки целесообразно разделить на два этапа. На первом этапе (см. рис. 6.13, *а*) обеспечивают зазоры в подшипниках, контролируя размер h при помощи технологической скалки. Технология регулировки зазоров в подшипниках описана в 6.1.1. Окончательно зазор в зубчатом сопряжении выдерживают на втором этапе (см. рис. 6.13, *б*). Вал в сборе со вторым колесом устанавливают с приложением осевой силы, гарантирующей выборку зазоров. В этом положении измеряют зазор под прокладку *2*. Фактическая толщина прокладки должна быть $H = e + C_x$, где e – измеренный зазор под прокладку; C_x – осевое перемещение колеса, соответствующее необходимому зазору в сопряжении.

Значение C_x определяют из соотношения

$$C_0 = C_x \cdot 2 \sin \alpha \sin \varphi,$$

где C_0 – регламентированный боковой зазор; α – угол зацепления; φ – угол делительного конуса устанавливаемого колеса.

После подбора и установки прокладок производят закрепление крышек.

При сборке червячных передач необходимо обеспечить оптимальный боковой зазор в сопряжении, а также симметричное расположение колеса относительно оси червяка и червяка относительно оси колеса. Наибольшее влияние на боковой зазор оказывает погрешность межосевого расстояния. В процессе сборки погрешность межосевого расстояния можно уменьшить пригонкой или пришабриванием цилиндрической поверхности опор при укладке вала с колесом в корпус.

Сборку червячной передачи начинают с установки вала червяка в сборе с подшипниками в корпус. Во время этой операции комплектом прокладок *2* (рис. 6.14) регулируют зазоры в подшипниках и симметричность расположения червяка относительно оси колеса. Симметричность

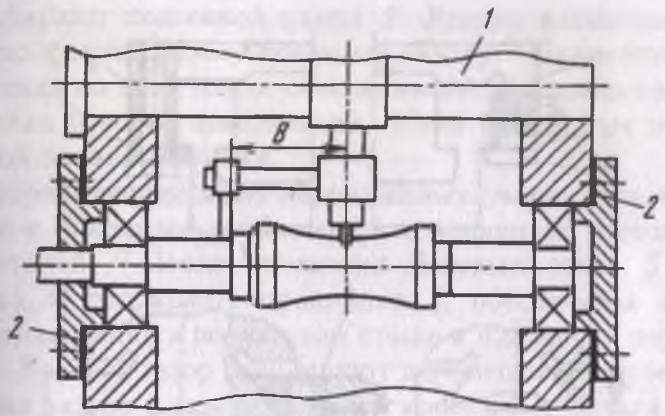


Рис. 6.14. Контроль симметричности расположения червяка относительно колеса

контролируют по размеру B (см. рис. 6.14) с помощью приспособления *1*, установленного вместо вала с колесом. Затем приспособление *1* убирают и устанавливают вал в сборе с колесом и подшипниками.

Боковой зазор в червячном соединении контролируют по схеме, приведенной на рис. 6.12. При этом закрепляют колесо и измеряют угол холостого хода червяка, который связан с боковым зазором соотношением

$$\varphi = \frac{0,015C_0}{d \sin \lambda \cos \alpha_g},$$

где d – диаметр делительного цилиндра червяка; λ – угол подъема витка червяка; α_g – профильный угол прямобочной рейки, сцепляющейся с эвольвентным червяком в нормальном сечении.

6.1.5. Сборка узлов с плоскими направляющими скольжения

Плоские направляющие скольжения широко применяются в конструкциях машин, особенно в технологическом оборудовании. Направляющие бывают с параллельными

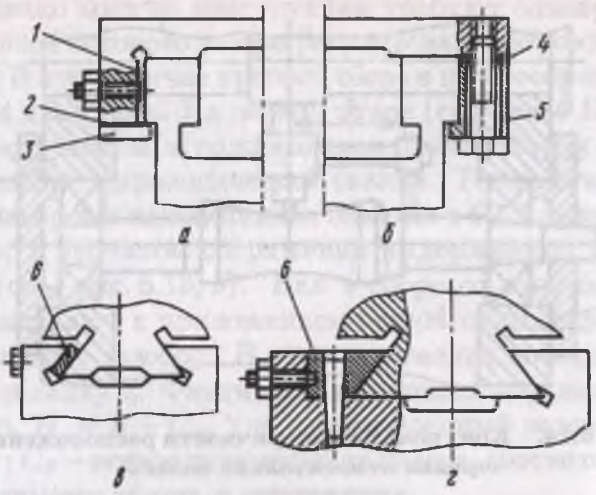


Рис. 6.15. Узлы скольжения с плоскими направляющими (*а*, *б*) и направляющими типа "ласточкин хвост" (*в*, *г*)

поверхностями (рис. 6.15, *а*, *б*) и поверхностями, расположенными под углом (рис. 6.15, *в*, *г*). Процессы сборки направляющих должны обеспечить прилегание сопрягаемых плоскостей по всей поверхности, отсутствие зазоров по боковым плоскостям, свободное перемещение подвижной детали на всей длине.

Направляющие с плоскими параллельными поверхностями бывают двух конструкций (см. рис. 6.15, *а* и *б*). Процесс сборки таких направляющих начинается с пригонки плоскостей контакта. Пригонку осуществляют шабрением поверхностей. На подвижную деталь наносят краситель и перемещают ее по неподвижной. Если след имеет отдельные пятна контакта, то в этих местах снимают металл шабером, добиваясь равномерного по всей плоскости следа. После этого устанавливают прижимную планку *1* (см. рис. 6.15, *а*) и прокладками *2* добиваются плотного прилегания плоскостей между собой и одновременно плавного перемещения подвижной детали. Для конструкций направляющих, представленных на рис. 6.15, *а*, боковой за-

зор выбирают подгонкой клина *3*. Размер клина определяют по фактическому боковому зазору. Плавность перемещения по всей длине обеспечивают пришабриванием клина или боковой поверхности. Клин фиксируют на подвижной детали винтами.

Направляющие мало нагруженных узлов скольжения делают с боковыми стойками, что упрощает изготовление деталей. После установки боковых стоек *5* (см. рис. 6.15, *б*) подбирают прокладки *4*, обеспечивая плотность прилегания в подвижном стыке и плавность перемещения. Боковой зазор регулируют перемещением стоек *5* в пределах зазора в отверстиях под крепежные детали. После регулировки стойки окончательно закрепляют. При затяжке болтов необходимо обеспечить равномерность затяжки по всей длине. Сборка заканчивается штифтованием боковых стоек.

При сборке направляющих станков (рис. 6.16) пришабривают и плоскую, и призматическую направляющие. Регулировка боковых зазоров для этих направляющих не требуется.

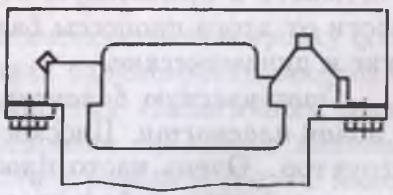


Рис. 6.16. Направляющие станков

Плотное прилегание и плавность хода направляющих типа "ласточкин хвост" (см. рис. 6.15, *в*, *г*) по всем поверхностям обеспечивают подбором и пригонкой планок *6*. В конструкции, представленной на рис. 6.15, *в*, планка крепится только от сдвига к подвижной детали, а в конструкции, показанной на рис. 6.15, *г*, планка штифтуется.

6.2. БАЛАНСИРОВКА СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Во всех вращающихся частях машин погрешности изготовления деталей и сборки узлов приводят к смещению

центра масс и геометрической оси относительно фактической оси вращения. Это смещение определяет неуравновешенность вращающихся деталей, в результате которого возникают колебания, сокращающие сроки службы машин, а в случае возникновения резонанса и разрушающие их. *Мерой неуравновешенности является дисбаланс*, который определяется вектором направления $\overrightarrow{r}$ и массой m и равен $\overrightarrow{D} = m\overrightarrow{r}$. Величина и направление дисбаланса в каждом сечении вращающегося ротора различны. В результате возникает изгибающий момент, вызванный парой центробежных сил различных по величине и направлению. Это явление называют продольной неуравновешенностью. Для роторов, вращающихся с небольшой частотой, достаточно учитывать только суммарный дисбаланс, снижая радиальную неуравновешенность. Для роторов, работающих с большой частотой вращения, необходимо учитывать и продольную неуравновешенность. В зависимости от этого процессы балансировки делят на статические и динамические.

Статическую балансировку проводят, как правило, в одной плоскости. Плоскость коррекции определяет конструктор. Очень часто плоскость коррекции не совпадает с плоскостью действительного положения центра масс и суммарного дисбаланса. При статической балансировке ротор устанавливают опорными шейками на ролики (рис. 6.17, *а*) или ножи. Под действием неуравновешенной массы ротор будет поворачиваться и займет устойчивое положение, когда центр масс будет находиться в нижней точке. Следовательно, с противоположной стороны диаметра необходимо увеличить массу. Это место отмечают и к нему добавляют уравновешивающий груз ΔG. Ротор *1* поворачивают на опорах *2* на угол 90° и регулировкой уравновешивающей массы добиваются его равновесия в этом положении. Дисбаланс определяют по формуле

$$D = \Delta G R,$$

где R – радиус приложения уравновешивающей массы.

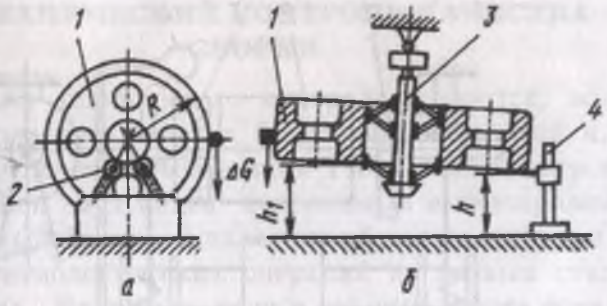


Рис. 6.17. Схемы статической балансировки

Уравновешивающую массу снимают с ротора, взвешивают и по ней определяют объем металла, который надо добавить в точке измерения или удалить в противоположной. Обычно металл удаляют сверлением или фрезерованием. В качестве уравновешивающей массы используют пластилин.

Аналогично проводят статическую балансировку подвешиванием (рис. 6.17, *б*). Такая балансировка необходима для маховиков, шкивов и других аналогичных деталей. При статической балансировке снижается влияние продольной неуравновешенности у ротора в сборе с маховиком. Колесо *1* подвешивают на шарнирно закрепленной штанге *3* с двумя параллелограммами. Равновесное положение колеса *1* определяется равенством расстояний h и h_1 от плоскости до торца колеса, которые измеряют с помощью рейсмуса *4*.

Недостатком статической балансировки является ее низкая точность. В процессе балансировки не учитываются силы трения, которые не позволяют деталям занять строго определенное положение, а также сложно обеспечить высокую точность удаления металла.

Динамическая балансировка позволяет определить и уменьшить радиальную и продольную неуравновешенности. Ее выполняют на специальных станках (рис. 6.18). Ротор *2*, установленный на подвижных опорах A и B,

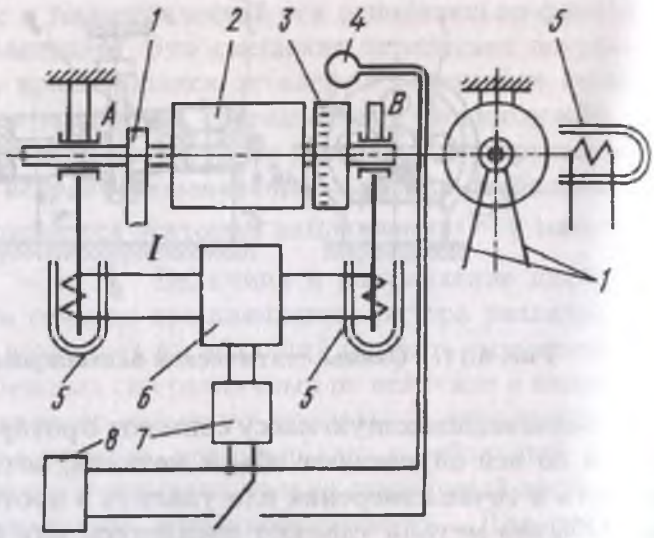


Рис. 6.18. Схема станка для динамической балансировки

колеблющихся в горизонтальной плоскости, приводится во вращение ременным приводом *1*. Колебания опор передаются на магнитоэлектрические преобразователи *5*, сигнал от которых поступает в блок настройки *6* и через усилитель *7* – на стрелочный прибор *8*, показывающий величину дисбаланса. Для определения угла дисбаланса используют стробоскопический эффект, который создается мигающей с частотой вращения ротора лампой *4*. По шкале *3* меткой отмечают угол положения дисбаланса. После остановки вал поворачивают до метки и которую переносят на вал. Балансировку производят раздельно в плоскостях ротора *I* и *II*.

Возможна динамическая балансировка нежестких роторов, при которой дисбаланс определяют по прогибу ротора в различных сечениях. В настоящее время существуют переносные приборы, позволяющие определять дисбаланс на работающем валу по микроколебаниям его опор или корпуса. По величине дисбаланса можно судить об износе деталей и прогнозировать необходимость их ремонта.

6.3. ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СБОРКИ

Задачами технического контроля являются, во-первых, недопущение выпуска бракованных изделий и, во-вторых, обеспечение соблюдения ТП. В машиностроении брак возможен двух видов: исправимый и неисправимый. Неисправимый брак возникает из-за нарушений при выполнении технологических операций на разных стадиях производства. Например, если в ступице колеса осталась литейная раковина, невыявленная при обработке, то при запрессовке ступицы на вал возможно разрушение. Очень часто неисправимый брак возникает при сборке резьбовых соединений. Например, перетяжка шпильки при ее завертывании в корпус может привести к образованию трещин. Таким образом, очень важно совершенствовать методы и средства контроля.

Качество сборки машины определяется качеством сборки ее узлов и соединений. Поэтому основной объем контрольных операций сосредоточен на контроле качества сборки узлов. Показатели качества, а следовательно, и контролируемые параметры, зависят от типа соединений.

При сборке резьбовых соединений необходимо обеспечить силу затяжки в пределах, заданных конструктором.

В настоящее время существует два способа контроля качества сборки резьбового соединения. Контроль по моменту страгивания с места крепежной детали при отвинчивании, осуществляемый с помощью динамометрического ключа, имеет низкую точность, так как на значение момента оказывают влияние многие факторы.

Контроль силы затяжки ультразвуком дает лучшие результаты. Известно, что при прохождении раздела сред звуковая волна частично отражается. По параметрам отраженной волны можно судить о плотности контакта в стыке, а следовательно, и силе затяжки.

Большое значение неразрушающий контроль имеет при контроле качества сборки соединений с натягом. Например, при напрессовке бандажа на ступицу вагонного

колеса необходим стопроцентный контроль прочности соединения. Ультразвуковой контроль позволяет решить эту задачу.

При сборке узлов машин требования к качеству и показатели качества зависят от их назначения. Например, качество сборки узлов с подшипниками качения определяется по плавности вращения, радиальным и осевым биениям. Методы контроля этих параметров в процессе сборки были рассмотрены в 6.1.1. Однако возможно их измерение непосредственно в собранном изделии. Для этого необходимо иметь статистические данные по влиянию зазоров в подшипниках на амплитуду колебаний в опорах при определенной частоте вращения. Известно, что колебания в опорах являются следствием влияния различных факторов. При этом каждый фактор вносит свою долю колебаний с определенной частотой, амплитудой и фазой. Используя современные методы исследований, можно выполнить обратный гармонический анализ сложных колебаний и определить долю каждой составляющей и ее параметры. Современное оборудование и средства контроля позволяют измерять колебания в опорах подшипников и проводить диагностику состояния изделия в процессе эксплуатации.

Контроль качества сборки изделий требует большого разнообразия средств и методов. Показателями качества сборки изделий машиностроения являются не только геометрические и силовые параметры, но и пневматические, гидравлические, акустические и другие характеристики. Например, при контроле качества редукторов необходимо проверить не только плавность работы зубчатой передачи, но и уровень шума и нагрева редуктора при работе под нагрузкой. Контроль качества сборки насоса требует определения его рабочих характеристик: расхода жидкости и создаваемого давления. Кроме того, необходимо определить отсутствие течи в стыках, т.е. герметичность насоса. Для определения качества сборки такого относительно несложного изделия, как газовый упор задней две-

ри легкового автомобиля, необходимо провести пять контрольных операций: определить фактическую силу, создаваемую упором, измерить скорость перемещения штока под нагрузкой, измерить плавность хода штока (получить график изменения скорости по длине хода штока), проверить герметичность во времени, проконтролировать длину штока. Для решения всех этих задач используют специальные установки, обеспечивающие высокое качество контроля.

Особенно важен технический контроль при автоматизации сборочных процессов. Введение автоматов в процессы сборки требует, как правило, стопроцентного контроля поступающих на сборку деталей. Объем контрольных операций после сборки при этом сокращается. Особенно важен входной технический контроль деталей в массовом производстве. Например, попадание в сборочный автомат крепежных деталей с некачественной резьбой может привести к неисправимому браку изделия или к поломке автомата.

Сложные задачи, стоящие перед службой контроля в сборочном производстве, требуют четкой ее организации. По охвату объектов контроль бывает выборочный, сплошной и дополнительный. К дополнительным видам контроля относят суперконтроль и инспекционный контроль. Суперконтроль периодически организуют для проверки работы контрольного оборудования, которое, как и вся техника, подвержено износу и требует своевременного ремонта или замены. Инспекционный контроль проводит лаборатория исследования качества с целью сбора статистического материала по расширенному перечню показателей качества выпускаемых изделий.

6.4. ИСПЫТАНИЕ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ И МАШИН

Испытание является заключительной операцией изготовления изделия. *Задача испытания – определить работоспособность изделия при обкатке без нагрузки, при*

номинальных нагрузках, а иногда и при кратковременном их увеличении на 25...30 %. Испытание проводят на специальных стендах, оборудованных необходимой аппаратурой. Большое количество и разнообразие испытываемых в машиностроении изделий требует соответствующей разработки ТП, оборудования и методов.

Укрупненно производственнные испытания машин можно разделить на три группы: *приемочные, контрольные и специальные.*

Приемочные испытания проводят для выявления эксплуатационных характеристик сборочных единиц и изделий. Например, при приемочных испытаниях двигателей внутреннего сгорания определяют мощность, расход топлива, степень сжатия в цилиндре и другие показатели, характеризующие двигатель. Перечень критериев оценки машины определяется конструктором.

Выявленные при испытании дефекты устраняют, после чего проводят контрольные испытания по меньшему числу показателей.

Специальным испытаниям подвергают вновь создаваемые машины. Задачей этих испытаний является исследование какого-либо явления при работе машины или определение ресурса работы отдельных ее деталей и узлов. После испытания машину разбирают и проводят тщательный анализ состояния всех деталей. При необходимости вносят изменения в конструкцию.

6.5. ТИПОВЫЕ СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРКИ

6.5.1. Механизированное и автоматическое сборочное оборудование

Под *средствами механизации и автоматизации сборки* понимают оборудование и технологическую оснастку, предназначенные для выполнения всех операций производственного процесса сборки. По типу выполняемых опера-

ций *сборочное оборудование делят на основное и вспомогательное.* Основное оборудование выполняет процессы соединения деталей и их фиксацию в сборочной единице в соответствии с требованиями конструкции изделия. Вспомогательное оборудование обслуживает процессы сборки: удаление готовых изделий, перемещение объектов сборки между операциями, ориентацию деталей, контроль процессов сборки.

Для выполнения операции сборки двух деталей необходимо переместить детали в зону сборки, сориентировать их, расположить сопрягаемые поверхности одна относительно другой, соединить их и зафиксировать положение.

Перемещение деталей и сборочных единиц между операциями осуществляют конвейерами, поворотными столами, манипуляторами или роботами. При ручной сборке деталей в массовом и серийном типах производства применяют напольные конвейеры. Тип конвейера выбирают по конструктивным и организационным признакам.

По расположению рабочих мест на конвейере последние делятся на *распределительные и рабочие.* У распределительного конвейера рабочее место расположено рядом с конвейером, и для осуществления сборки объект снимают с него вручную, манипулятором или сталкиванием на ответвление конвейера. Распределительные конвейеры применяют для сборки небольших изделий. В отличие от распределительных рабочие конвейеры используют непосредственно в качестве рабочих мест сборки. Для этого на несущем органе могут быть установлены приспособления.

Поворотные столы используют при ручной и автоматизированной сборке изделий массой до 50 кг. Как правило, поворотные столы совершают циклическое движение. Их конструкции унифицированы и имеется нормализованный ряд габаритных размеров с соответствующим количеством рабочих мест.

Передача деталей с помощью манипуляторов в процессах ручной сборки применяется при использовании рас-

пределительных конвейеров или поворотных столов. Манипуляторы имеют строго заданную траекторию перемещения, которая осуществляется, как правило, от пневмопривода. Регулировка перемещения возможна только по каждой из координат. Смена траектории перемещения не предусмотрена. Для съема изделия манипуляторы снабжают захватными органами различной конструкции. Манипуляторы, имеющие одно линейное или круговое движение, называют шиберными механизмами. Их относят к технологической оснастке и проектируют индивидуально. Выпускаемые типовые конструкции манипуляторов имеют грузоподъемность до 20 кг.

Роботы являются наиболее универсальным технологическим оборудованием для сборочных процессов. Они могут осуществлять как основные, так и вспомогательные операции. Область применения роботов – автоматизированная сборка для групповых ТП.

К типовым механизмам, осуществляющим ориентацию деталей и фиксацию их в зоне сборки, относят *бункерные устройства, лотки, накопители, кассеты,* методики расчета которых были расмотрены в 2.5.

Наибольшим разнообразием характеризуется основное сборочное оборудование. Его конструкция и технические характеристики зависят от вида сборочного соединения, конструктивных особенностей соединяемых деталей, требований к качеству соединения и других факторов. Проектирование типовых механизированных и автоматических устройств, выполняющих соединение деталей, основано на принципах типизации ТП сборки и агрегатирования сборочного оборудования на основе применения унифицированных узлов. Наиболее полно эти принципы нашли применение в приборостроении, автомобильной и тракторной промышленностях.

Для создания типовых сборочных механизмов проводят типизацию ТП. Например, для сборки резьбовых соединений применяют типовую схему базирования резьбовой детали в исполнительном механизме. Применяемые в

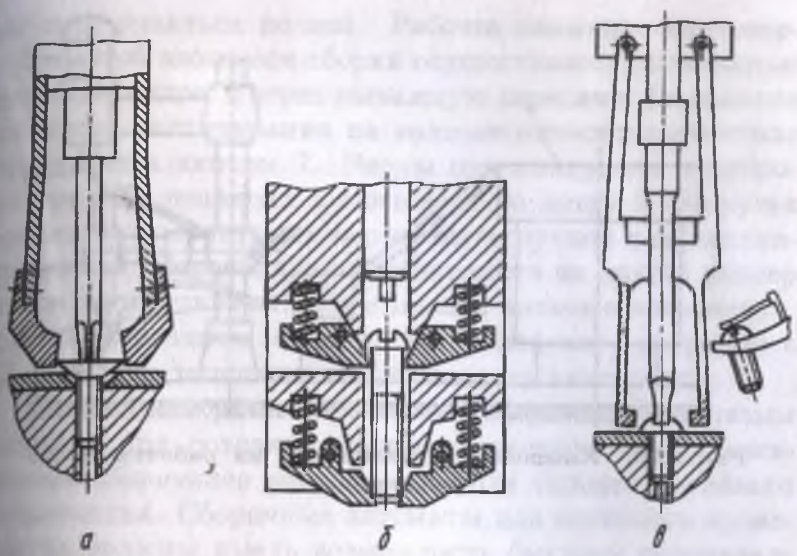


Рис. 6.19. Сменные насадки на механизированные (*а*, *б*) и автоматические (*в*) винтоверты

конструкциях изделий приборостроения винты размером от М2 до М5 с различными типами головок базируют в винтоверте по резьбовой поверхности и торцу головки. Такая схема позволила создать серию сменных насадок на винтоверт (рис. 6.19), обладающих возможностью автоматической подачи винтов под отвертку.

В процессе ручной сборки винтоверт используют в компоновке с вибробункером *1* (рис. 6.20) или без него. Отвертка винтоверта вращается от электродвигателя *2* через гибкий или карданный вал *3*. Винтоверт *4* либо перемещается по направляющей *5*, либо подвешен свободно и перемещается рабочим. Возможна многошпиндельная компоновка механизма. Такая конструкция позволяет завинчивать различные винты от М2 до М5 двумя типами винтовертов со сменными насадками и электродвигателями различной мощности.

В условиях серийного производства эффективно применение типовых полуавтоматов. На рис. 6.21 показа-

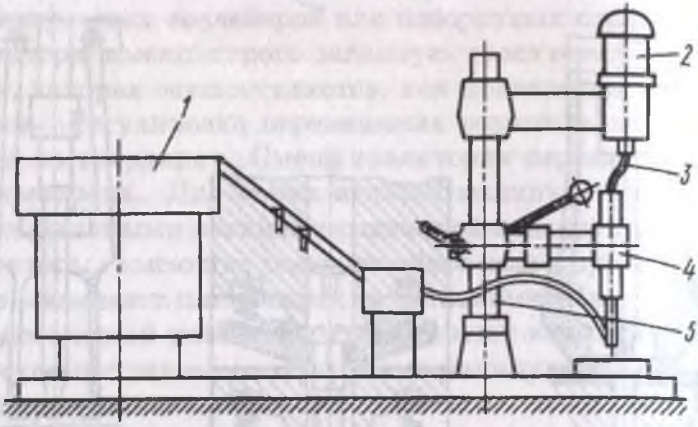


Рис. 6.20. Компоновка механизмов на рабочем месте сборщика

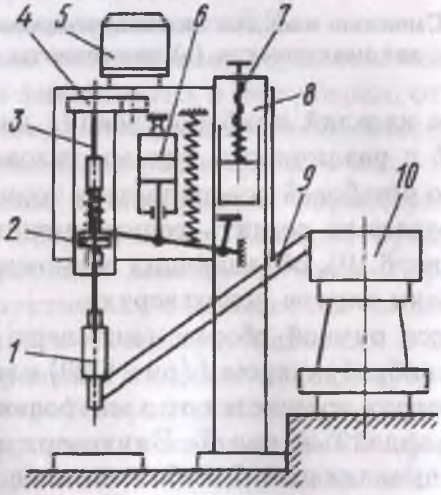


Рис. 6.21. Схема полуавтомата для установки винтов

на схема полуавтомата для сборки резьбовых соединений, сконструированного из типовых исполнительных механизмов. Механизм завинчивания, состоящий из винтоверта *1*, муфты контроля момента *2*, карданной передачи *3*, редуктора *4* и двигателя *5*, расположен на колонне *8* и мо-

жет перемещаться по ней. Рабочее движение винтоверта с муфтой вдоль оси сборки осуществляется с помощью пневмоцилиндра *6* через рычажную передачу. Положение механизма завинчивания на колонне относительно стола регулируется винтом *7*. Винты ориентируются в вибробункере *10* и подаются в винтоверт по лотку *9*. Загрузка изделия на полуавтомат может быть ручной или механизированной. Переналадку полуавтомата на другой размер винтов осуществляют путем замены лотков и винтоверта. Если размер винта меняется незначительно, например с М2 на М3, то заменяют только насадку винтоверта.

Дальнейшее развитие типовые сборочные механизмы получили при создании *автоматического переналаживаемого сборочного оборудования* для условий серийного производства. Сборочные автоматы для серийного производства должны иметь возможность быстрой переналадки при смене объекта сборки. Переналадку сборочных автоматов осуществляют тремя способами: заменой исполнительных механизмов, регулировкой исполнительных механизмов при помощи специальных звеньев конструкции или перепрограммированием оборудования с ЧПУ (в основном в роботизированном производстве). Во всех трех случаях, как правило, производится замена технологической оснастки. Наиболее быстро осуществляется переналадка на программируемом оборудовании. Однако роботизированная сборка имеет меньшую прозводительность по сравнению с традиционными автоматами и поэтому не всегда эффективна.

Эффективность использования переналаживаемых сборочных автоматов возрастает при правильном проектировании процессов сборки на них. Минимального времени переналадки и максимальной универсальности оборудования добиваются тщательным подбором объектов сборки по конфигурации и размерам. Для этого проводят анализ типов соединений и схем базирования деталей на сборочной позиции, группируют изделия по количеству и типу соединений.

Рассмотрим в качестве примера сборку четырех узлов, показанных на рис. 6.22. Последовательность сборки каждого из них и типы соединений приведены в табл. 6.1.

Из таблицы видно, что групповые ТП сборки II и III сборочных единиц имеют одинаковое число переходов: 1) установку базовой детали; 2) установку присоединяемой

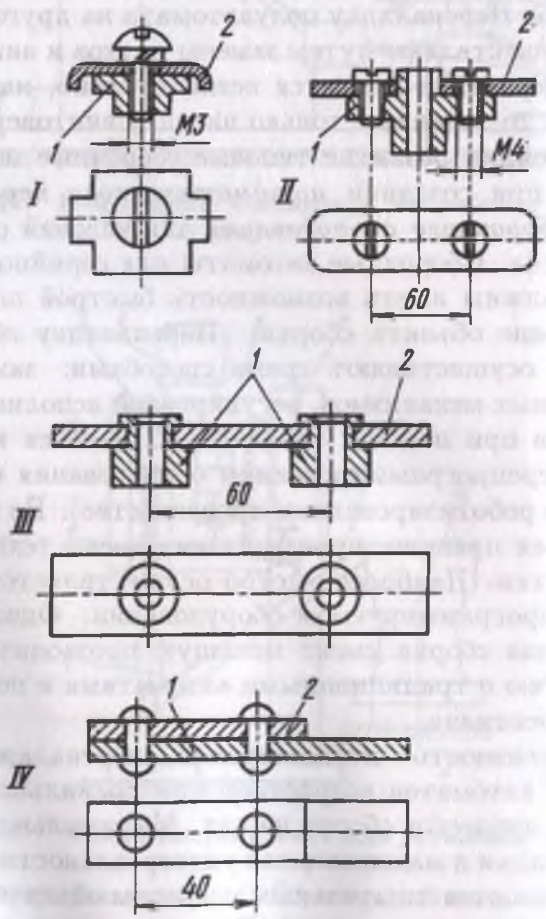


Рис. 6.22. Сборочные единицы (*I*...*IV*) для автоматической сборки на переналаживаемом оборудовании:

1 – базовая деталь; *2* – присоединяемая деталь

детали; 3) закрепление детали. Однако методы их закрепления требуют различных механизмов. Следовательно, групповой ТП может быть осуществлен на переналаживаемом автомате, имеющем четыре позиции (см. табл. 6.1): 1) установка в приспособление базовой детали (деталей) (позиция *1*); 2) установка присоединяемой детали (позиция *2*); 3) закрепленние деталей (позиция *5*); 4) снятие сборочной единицы. На автомате необходима переналадка при смене сборочной единицы: на поворотном столе – смена приспособлений; на позиции закрепления – смена механизмов и на всех позициях – смена захватных устройств на механизмах перемещения.

Групповой ТП сборки I и IV сборочных единиц, имеющих одинаковое число переходов, можно осуществить на переналаживаемом автомате, имеющем пять позиций: 1) установка в приспособление базовой детали (позиция *1*); 2) установка присоединяемой детали (позиция *2*); 3) установка промежуточной детали (позиции *3, 4*); 4) закрепление деталей (позиция *5*); 5) снятие собранного изделия.

Сравнивая структуру автоматов для сборки II, III и I, IV сборочных единиц можно спроектировать групповой ТП сборки всех сборочных единиц на переналаживаемом пятипозиционном автомате, у которого третья позиция будет загружена на 50 %, что допустимо при серийном выпуске изделий.

Компонуют сборочные переналаживаемые автоматы на базе унифицированных поворотных столов с расположением механизмов вокруг них на штифтах или по направляющим для обеспечения требуемой точности их положения. На поворотных столах устанавливают приспособления. Компоновка механизмов на сборочных позициях аналогична компоновке полуавтомата, пример которого показан на рис. 6.21.

При проектировании ТП роботизированной сборки необходимо провести аналогичный анализ. Технолог также должен решить задачу рациональной концентрации позиций сборки на одном рабочем месте. Переналадка робо-

Таблица 6.1. **Характеристика процессов сборки изделий**

Последовательность сборки	Тип соединения для сборочной единицы			
	I	II	III	IV
1. Установка базовой детали (деталей)	Цилиндрическое на палец	Цилиндрическое на два пальца	Цилиндрическое на два отверстия	Цилиндрическое на два пальца
2. Установка присоединяемой детали	Плоское с ориентацией по пальцу	Цилиндрическое с зазором с ориентацией по двум пальцам	Цилиндрическое с зазором	Плоское с ориентацией по двум пальцам
3. Установка шайбы	Плоское с ориентацией по пальцу	—	—	—
4. Установка крепежной детали	Резьбовое	Резьбовое	—	Цилиндрическое с натягом
5. Закрепление деталей	Выполняется на предыдущем переходе	Выполняется на предыдущем переходе	Развальцовка двухшпиндельная	Расклепывание двух заклепок

тизированного сборочного оборудования связана со сменой схватов роботов и приспособлений.

Типовые конструкции схватов и приспособлений для роботизированной сборки разрабатывают по тем же принципам, которые характерны для автоматов и полуавтоматов и описаны выше.

6.5.2. Автоматизированные линии сборки узлов автомобилей и тракторов

Автоматизированные и *автоматические* линии сборки узлов автомобилей и тракторов являются *специализированными* и спроектированы из *типовых элементов*. Автоматизированные линии применяют для сборки крупных узлов и агрегатов машины, таких как двигатель, задний мост и др. Сборку меньших по размеру узлов и агрегатов осуществляют, как правило, на АЛ.

По типу транспортеров линии бывают с *жестким* и *нежестким тактами*. Линии с жестким тактом оснащены штанговыми или цепными транспортерами циклического действия с пневматическим или электрическим приводом движения. Производительность таких линий зависит от надежности работы каждой позиции и собственно транспортера. Так как с увеличением числа позиций возрастает вероятность возникновения отказа, а отказ любого из элементов линии с жестким циклом – это простой всей линии, то число рабочих позиций на линиях с жестким циклом должно быть ограничено. Практика показала, что число позиций не должно превышать 8. Если необходимо большее число позиций на линии, то линию с жестким циклом делят на участки, создавая между ними накопители. В этом случае повышается надежность и производительность линии.

Более высокую производительность обеспечивают линии с нежестким циклом или связью – так называемые *несинхронные линии*. В несинхронных линиях используют *пластинчатые* или *цепные роликовые конвейеры*. Последние находят все большее распространение благодаря

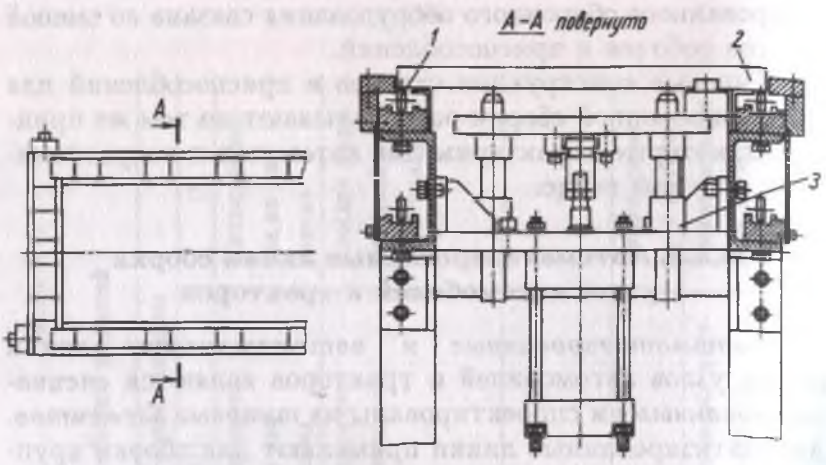


Рис. 6.23. Цепной роликовый конвейер

своей универсальности. По компоновке это горизонтально замкнутые рабочие конвейеры. Такие линии используют при автоматизированной и автоматической сборке.

Цепные роликовые конвейеры (рис. 6.23) рабочего типа с помощью роликов *1* осуществляют перемещение палет *2* и имеют механизмы их фиксации на сборочных позициях. Фиксацию палеты *2* на сборочной позиции осуществляют по плоскости и двум отверстиям механизмом *3* (наиболее распространенная схема) или по схеме "в угол" (по трем взаимно перпендикулярным плоскостям).

Перед ручной позицией сборки на несинхронной линии предусматривают место для накопления 3-х или 4-х палет, что позволяет варьировать продолжительность соединения или регулировки конкретной сборочной единицы. В результате общая производительность сборки на автоматизированных несинхронных линиях на 10 – 15 % выше, чем на линиях жесткого типа.

В автомобильной и тракторной промышленности сборочные линии в первую очередь проектируют для типовых конструкций сборочных единиц (шатуны, головки блока цилиндров, шатунно-поршневая группа и др.), каждая из

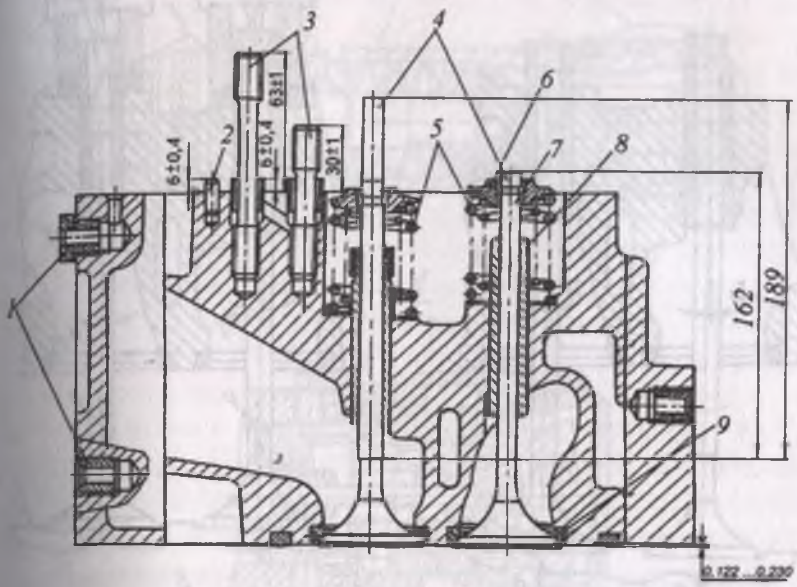


Рис. 6.24. Головка блока цилиндров ЯМЗ-840

которых состоит из подобных деталей. Например, конструкции многих головок блоков цилиндров имеют различие в размерах и конфигурации, однако содержат одинаковые детали (рис. 6.24): технологические заглушки *1*, штифты *2*, шпильки *3*, клапаны *4*, пружины *5*, тарелки пружин *6*, сухари крепления пружин *7*, направляющие втулки *8*, седла клапанов *9*. Технологические резьбовые заглушки, седла клапанов и направляющие втулки устанавливают на АЛ перед окончательной обработкой головки блока цилиндров. Остальные детали размещают на АЛ с асинхронным цепным роликовым горизонтально замкнутым конвейером рабочего типа.

Компоновка автоматов на сборочных позициях линии зависит от типа соединения, конструкции собираемых деталей и возможности их автоматической ориентации. Например, автоматическая ориентация пружин невозможна из-за их сцепляемости. Поэтому их установку осуществляют вручную и на позиции линии производят только авто-

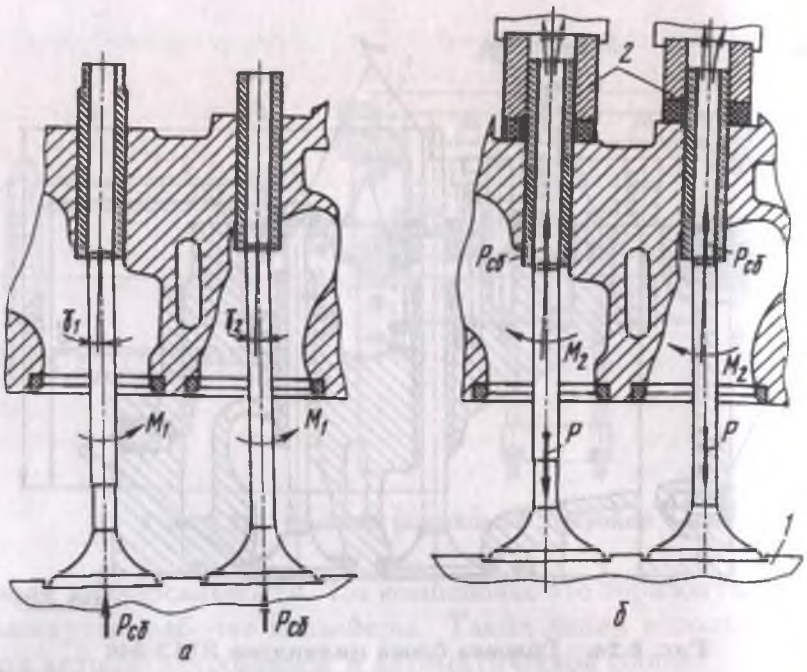


Рис. 6.25. Установка клапанов во втулку

матическое закрепление пружин клапана сухарями, которые подают из вибробункера.

Конструкторские разработки автоматов основаны на глубоких исследованиях процессов автоматической сборки. Так, соединение клапана со втулкой относится к цилиндрическим соединениям с малым (до 0,03 мм) зазором.

Автоматическая сборка таких соединений затруднена в связи с отклонениями от соосности сопрягаемых деталей и перекосом их осей γ_1 и γ_2 (рис. 6.25). Отклонение от соосности может быть компенсировано наличием фасок. Перекос осей γ_1 и γ_2 при приложении сборочной силы $P_{сб}$ снизу (см. рис. 6.25, *а*) вызывает момент M_1 и приводит к заклиниванию при сборке.

В ходе проведенных исследований было установлено, что перекос осей может быть компенсирован действием гравитационной силы P и связанным с ней моментом M_2

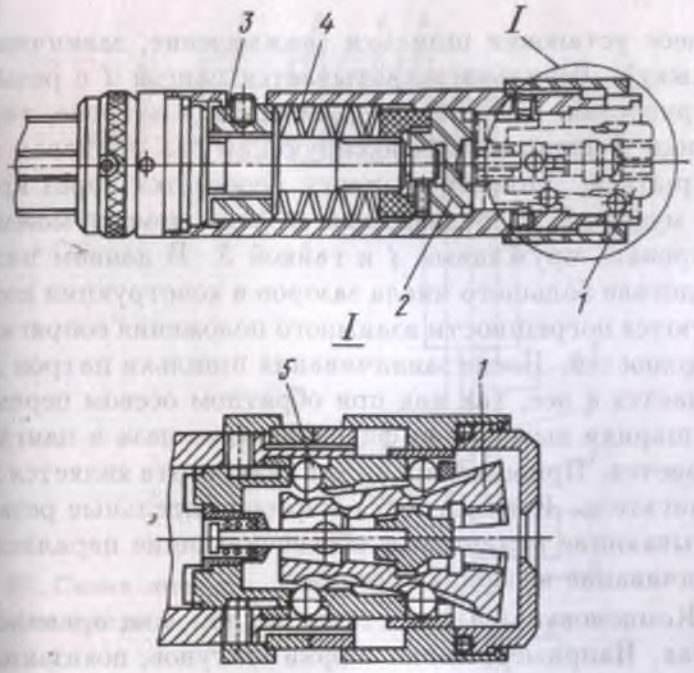


Рис. 6.26. Патрон для наживления и завинчивания шпилек

при приложении сборочной силы к хвостовику клапана (см. рис. 6.25, *б*). Такая схема сборки реализована в автоматах сборки клапана со втулкой. Клапан находится на кассете *1*, базируясь по наружному диаметру головки и торцу. Кассета при подъеме доводит клапан до касания со втулкой. Клапан ориентируется по фаскам относительно отверстия. С противоположной стороны подводят штуцер *2* вакуумной установки и создают разряжение в полости втулки. Из-за малого зазора между клапаном и отверстием втулки возникает эффект втягивания клапана, кассету опускают, клапан устанавливается во втулку.

Типовыми являются *автоматы сборки резьбовых соединений*, важным элементом которых является патрон. На позициях завинчивания шпилек линий применяют патроны (рис. 6.26), выполняющие автоматически весь

процесс установки шпильки (наживление, завинчивание, затяжку). Шпилька захватывается цангой *1* с резьбовой поверхностью и прочно удерживается в патроне, так как шарики *5* попадают в фиксирующий паз, не давая цанге раскрыться. Момент на цангу передается через крестовую муфту *2*. Передаваемый муфтой момент можно регулировать пружинами *4* и гайкой *3*. В данном патроне вследствие большого числа зазоров в конструкции компенсируются погрешности взаимного положения сопрягаемых поверхностей. После завинчивания шпильки патрон легко снимается с нее, так как при обратном осевом перемещении шарики выходят из фиксирующего паза и цанга раскрывается. Приводом вращения гайковерта является пневмодвигатель. Используются многошпиндельные резьбозавертывающие механизмы, обеспечивающие параллельное завинчивание нескольких шпилек.

Компоновка АЛ с жестким циклом, как правило, линейная. Например, линия сборки шатунов, показанная на рис. 6.27, включает следующие позиции: *6* – мойка, *7* – сопряжение корпуса и крышки, *8* – запрессовка болтов, *9*, *11* – контроль качества сборки, *10* – навинчивание гаек. Загрузку деталей осуществляют вручную через накопители *1*, *3*, подъемник *2*. Далее с помощью автоматического загрузчика *4* шатун и крышку устанавливают на транспортер *5*.

Механизм запрессовки болтов (рис. 6.28) состоит из сборочной головки *1*, поворотного сердечника *4*, досылателей *5* и *6*, подпружиненных губок *7*. Болт попадает в сердечник через канал *2* из вибробункера. При перемещении сборочной головки вниз сердечник поворачивается, ось болта совмещается с осью рабочего канала *3* и перемещением досылателей производится запрессовка болтов. Направляющие подпружиненные губки *7* позволяют болту легко самоустанавливаться по отверстию шатуна, что обеспечивает высокую безотказность процесса запрессовки.

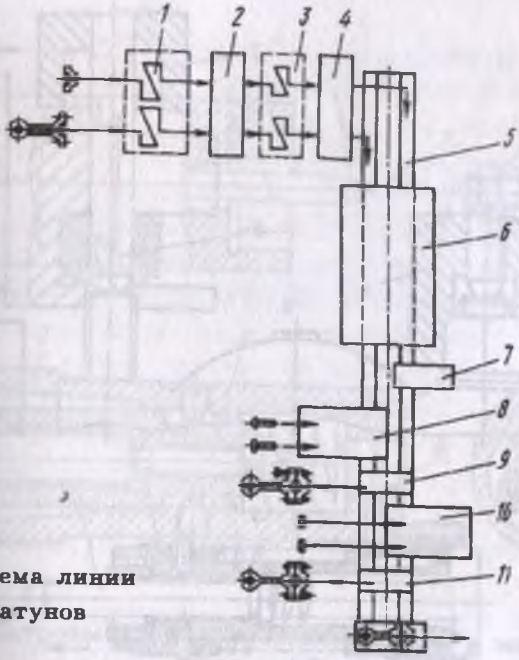


Рис. 6.27. Схема линии сборки шатунов

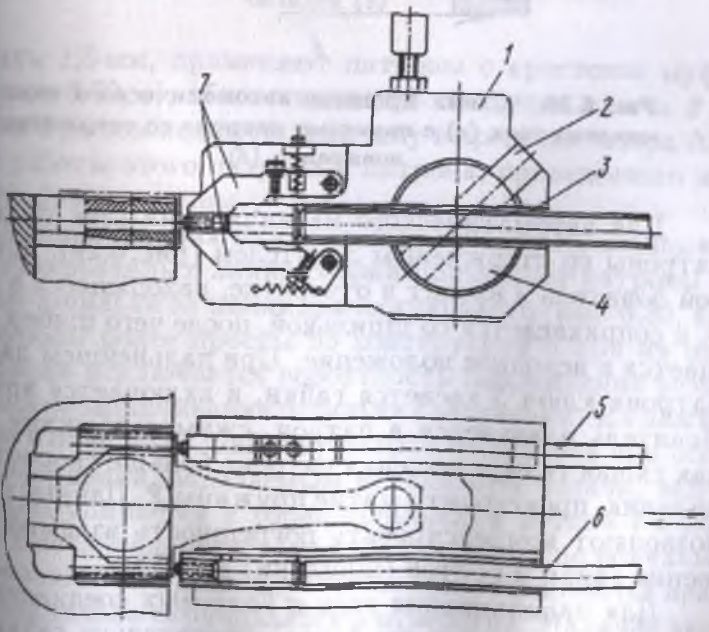


Рис. 6.28. Механизм запрессовки болтов

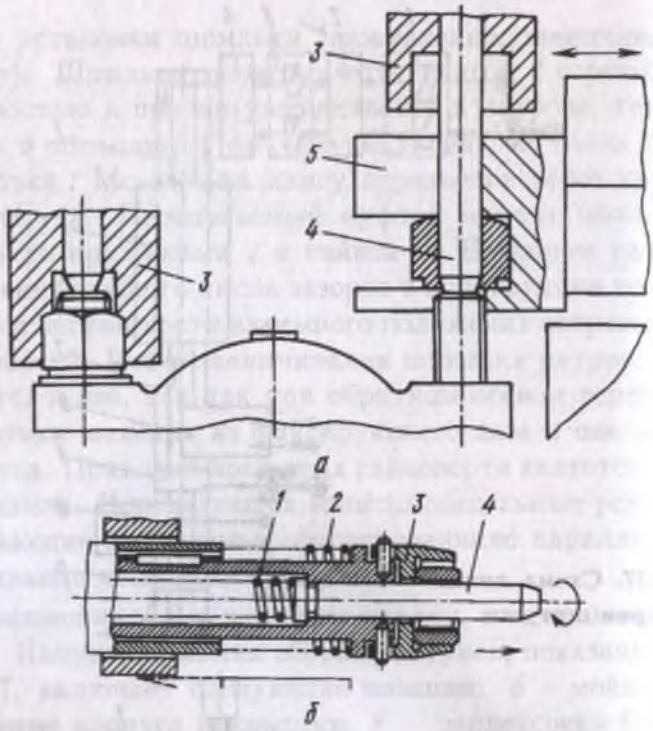


Рис. 6.29. Схема процесса автоматического навинчивания гаек (*а*) с помощью патрона со стержневым ловителем (*б*)

Для автоматического навинчивания гаек применяют патроны со стержневым ловителем (рис. 6.29). Стержневой ловитель *4* входит в отверстие, находящееся в шибере *5*, и соприкасается со шпилькой, после чего шибер возвращается в исходное положение. При дальнейшем движении патрона ключ *3* касается гайки, и включается вращение. Ловитель вдвигается в патрон, сжимая пружину *1*. Так как скорость перемещения патрона больше скорости свинчивания, происходит сжатие пружины *2*. Данные патроны позволяют компенсировать погрешность взаимного положения гайки и болтов (шпильки) до 0,5 мм.

Для навинчивания гаек в болтовых соединениях, где погрешность положения болта относительно гайки может

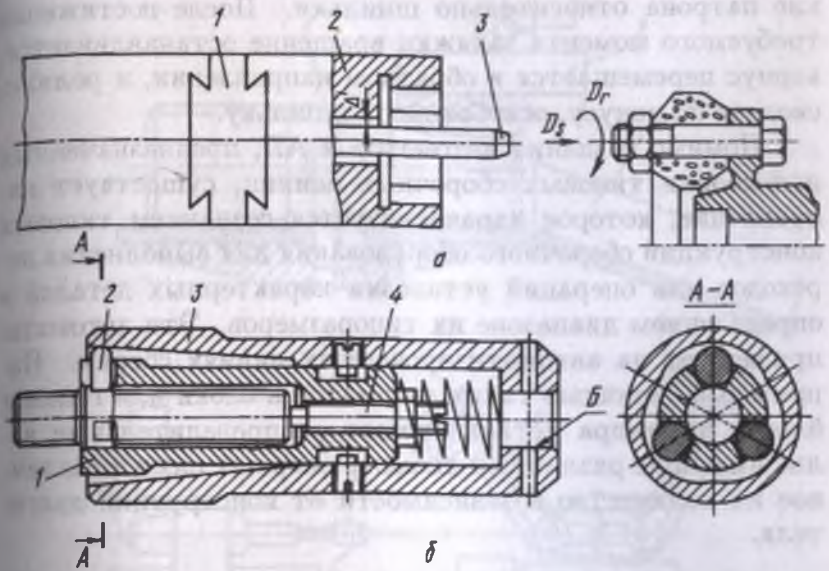


Рис. 6.30. Патроны для навинчивания гаек (*а*) и завинчивания шпилек (*б*)

достигать 1,5 мм, применяют патроны с крестовой муфтой *1* (рис. 6.30, *а*), обеспечивающей смещение ключа *2* и ловителя *3* на необходимую величину в пределах зазора Δ'. Циклы работы этого патрона и патрона, приведенного на рис. 6.29, *б*, аналогичны.

Для завинчивания наживленных шпилек на позициях автоматизированных линий сборки применяют патроны с захватом шпильки за цилиндрическую часть (рис. 6.30, *б*). Эти патроны более просты по конструкции и при их использовании исключается вероятность повреждения резьбы. Процесс завинчивания шпильки следующий. На наживленную в отверстие шпильку патрон надевается при осевом перемещении, задаваемым механизмом подачи, винт *4* при этом упирается в торец шпильки, и втулка *1* с роликами *2* останавливается, корпус *3* скользит по роликам, которые зажимают шпильку. После этого включается вращение и шпилька вкручивается в отверстие. Наличие эксцентричных расточек в корпусе *3* исключает провертыва-

ние патрона относительно шпильки. После достижения требуемого момента затяжки вращение останавливается, корпус перемещается в обратном направлении, и ролики, скользя по конусу, освобождают шпильку.

Помимо создания автоматов и АЛ, предназначенных для сборки типовых сборочных единиц, существует направление, которое характеризуется созданием типовых конструкций сборочного оборудования для выполнения переходов или операций установки характерных деталей в определенном диапазоне их типоразмеров. Эти автоматы применяют на автоматизированных линиях сборки. Например, с помощью таких автоматов в блоки или головки блоков цилиндра устанавливают распределительные валы, имеющие различный диаметр опорных шеек и различное их количество в зависимости от конструкции двигателя.

6.5.3. Средства автоматического контроля сборки

При создании автоматического сборочного оборудования большое значение придают применению контрольных средств. В конструкциях сборочных линий и автоматов предусматривают устройства для контроля наличия детали в приспособлении (механизме), размеров или положения деталей, параметров процесса соединения.

Контроль наличия и *положения* деталей в сборочных механизмах необходим для исключения работы механизмов вхолостую и поломок оборудования в случаях отказа механизмов загрузки. Контроль *размеров деталей* перед автоматической сборкой необходим для проверки соответствия детали техническим требованиям с целью исключения брака по этой причине и отказа сборочного оборудования. Контроль *параметров соединения* призван надежно обеспечить качество сборки. Этими параметрами могут быть линейные размеры или физические величины. Физические величины, например момент затяжки, усилие за-

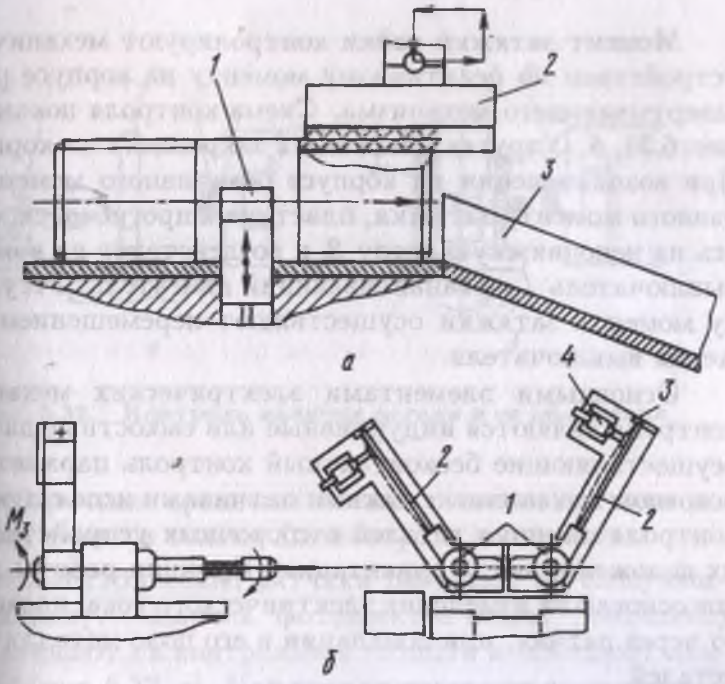


Рис. 6.31. Контроль резьбы (*а*) и момента затяжки гайки (*б*)

прессовки и другие, контролируют в процессе выполнения соединения.

В конструкциях сборочных автоматов применяют *механические, электрические, фотоэлектрические, пневматические* и другие устройства контроля.

Механические устройства можно использовать для многих видов контроля. Например, входной контроль наличия резьбы нужного шага у шпильки осуществляют механической гребенкой (рис. 6.31, *а*). Шпилька, находящаяся на лотке, останавливается упором *1*. Гребенка *2* с насечкой, соответствующей шагу контролируемой резьбы, перемещается по шпильке. При резьбе нужного шага гребенка попадает в резьбу, захватывает шпильку и перемещает ее в лоток *3*. Если резьба не соответствует требуемой, то гребенка проскальзывает по шпильке, упор убирается и шпилька отбраковывается.

Момент затяжки гайки контролируют механическим устройством по реактивному моменту на корпусе резьбозавертывающего механизма. Схема контроля показана на рис. 6.31, *б*. Упругая пластина *2* закреплена на корпусе *1*. При возникновении на корпусе реактивного момента M, равного моменту затяжки, пластина *2* прогибается, опираясь на неподвижную опору *3*, и воздействует на конечный выключатель *4*, останавливающий двигатель. Регулировку момента затяжки осуществляют перемещением положения выключателя.

Основными элементами электрических механизмов контроля являются индуктивные или емкостные датчики, осуществляющие бесконтактный контроль параметра. В основном механизмы с такими датчиками используют для контроля наличия деталей в сборочных устройствах или их положения после ориентации. Принцип работы датчиков основан на изменении электрического тока, проходящего через датчик, при попадании в его поле металлических деталей.

Электрические датчики сопротивления (тензорезисторы) позволяют также измерять параметры процесса. Датчики приклеивают к измеряемому объекту или специальному элементу измерительного устройства. При возникновении деформаций в конструкции изменяется сопротивление датчика и, следовательно, ток, проходящий через него. По изменению тока судят о значении измеряемого параметра. Например, на пластину *2* (рис. 6.31, *б*) можно наклеить датчик сопротивления и контролировать момент затяжки. Точность контроля при этом будет выше, чем при контроле описанным ранее методом.

Принцип работы пневматических датчиков основан на том, что при попадании детали в струю воздуха, выходящую из сопла, в воздушной системе изменяются параметры давления и расхода. По изменению этих параметров (в основном параметра давления) судят об изменении контролируемого параметра. Эти датчики можно использовать для контроля наличия детали, ее положения и разме-

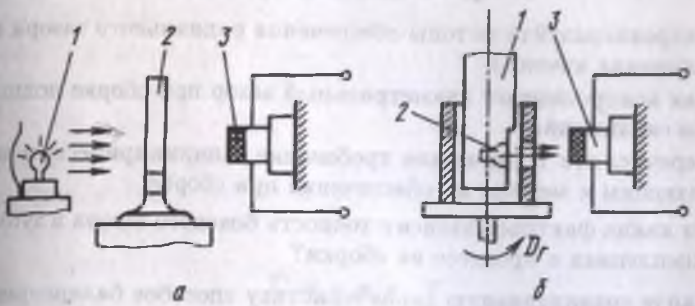


Рис. 6.32. Контроль наличия детали и ее положения

ра. В сборочных процессах пневматические датчики используют редко и только для контроля положения.

Фотоэлектрические датчики работают по следующему принципу. Датчик фотоэлектрический (фотодиод) устанавливают на контрольной позиции и освещают лампочкой *1* (рис. 6.32, *а*). При прохождении между лампочкой и датчиком *3* детали *2* перекрывается поток света на датчик, и сопротивление фотодиода изменяется.

Механизмы с фотоэлектрическими датчиками нашли широкое применение для контроля положения детали. Например, контроль положения отверстия под смазку у втулки относительно отверстия в малой головке шатуна при ее запрессовке осуществляют по схеме, показанной на рис. 6.32, *б*. Перед установкой втулка должна занять строго определенное положение относительно отверстия в головке шатуна. Для ориентации втулку медленно вращают относительно штока *1*, в котором вмонтирована лампочка *2*, освещающая фотодиод *3*. При совпадении отверстия с заданным положением фотодиод освещается, и вращение прекращается. Фотодиоды являются чувствительными датчиками. При использовании их для контроля размеров можно определить отклонение размера на несколько микрометров.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте методы обеспечения радиального зазора в подшипниках качения.
2. Как контролируют диаметральный зазор при сборке подшипников скольжения?
3. Перечислите технические требования к цилиндрическим направляющим и методы их обеспечения при сборке.
4. От каких факторов зависит точность бокового зазора в зубчатых зацеплениях в процессе их сборки?
5. Дайте сравнительную характеристику способов балансировки.
6. Перечислите виды технического контроля качества сборки и дайте их краткую характеристику.
7. На каких принципах основано проектирование типовых сборочных механизмов? Охарактеризуйте их.
8. От каких факторов зависит компоновка автоматического сборочного оборудования?
9. Дайте характеристику автоматизированным линиям сборки узлов автомобилей и тракторов.
10. Назовите типы контрольных устройств, применяемых при автоматической сборке.

Глава 7

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ

7.1. СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Производственная система (ПС) представляет собой совокупность технологического оборудования с системой обеспечения функционирования производства, предназначенную для изготовления изделий определенной номенклатуры.

Организационная структура ПС содержит следующие уровни: 1) завод; 2) цех; 3) участок; 4) линия.

Производственную деятельность завода осуществляют входящие в его состав цехи, службы и подразделения. Цехи подразделяются на производственные, вспомогательные и обслуживающие.

К *производственным* относят цехи, в которых изготавливают заготовки, детали, сборочные единицы и изделия, составляющие производственную программу завода. Эти цехи подразделяют на *заготовительные* (раскройно-заготовительные, литейные, кузнечные и др.), *обрабатывающие* (механические, термические, прессовые, металлопокрытий, окрасочные и др.) и *сборочные* (сварочно-сборочные, узловой и общей сборки, испытательные станции и др).

К *вспомогательным* относят цехи, обеспечивающие функции технического обслуживания производственных

цехов и завода в целом. К ним относят инструментальные, ремонтно-строительные, модельные и другие цехи, а также энергетические установки (электроподстанции, котельные, компрессорные, кислородные и ацетиленовые станции и т.д.).

К *обслуживающим* относят цехи и устройства, выполняющие функции хозяйственного и частично технического обслуживания (транспортный цех, складское хозяйство, заводские лаборатории, заводоуправление, столовые, поликлиники и др.).

Структура механосборочного производства зависит от конструктивных и технологических особенностей изделий, типа производства и ряда других факторов.

Изделия, выпускаемые заводами, распределяют по цехам по предметному, технологическому или смешанному признаку. При организации цехов по предметному признаку за каждым из них закрепляют все детали определенного узла или изделия и их сборку. В этом случае все цехи являются механосборочными и включают механические и сборочные отделения. При наличии нескольких механосборочных цехов, изготавливающих отдельные узлы, на заводе предусматривают дополнительно цех общей сборки выпускаемых машин. Такая организация цехов характерна, как правило, для массового и крупносерийного типов производства. Например, на автомобильных заводах имеются: механосборочный цех двигателей, механосборочный цех передних и задних мостов и шасси, цех общей сборки автомобилей.

Организация цехов по предметному признаку может иметь место также при обширной номенклатуре изделий единичного и мелкосерийного типов производства. В этом случае узлы распределяют по отдельным цехам в зависимости от их массы или других характеристик.

При организации цехов по технологическому признаку детали разных машин и узлов группируют по сходному ТП. Такая форма организации характерна для единичного и серийного типов производства, так как здесь обычно не

удается загрузить полностью оборудование деталями одного изделия. В цехах обрабатывают сходные детали независимо от того, к какому узлу или машине они относятся. Механообрабатывающее производство в этом случае разделяют на цехи по типу деталей и однородности ТП (например, цехи крупных базовых деталей, валов, зубчатых колес, метизов и т.д.). Сборочный цех выделяют в самостоятельный цех, в который поступают детали из различных цехов и отделений. Применительно к заводам тяжелого станкостроения при такой форме организации состав цехов бывает примерно следующим: механический цех тяжелых и крупных деталей, механический цех средних и мелких деталей, сборочный цех.

Организация цехов по смешанному признаку обычно встречается в серийном производстве при большой номенклатуре изделий. В этом случае для изготовления некоторых изделий цехи организуют по предметному признаку (например, цехи редукторов, муфт), а для остальной части изделий – по технологическому признаку.

Изготовление стандартных деталей обычно выделяют в отдельные цехи независимо от принятой схемы организации производства.

При наличии в программе большого количества узлов и деталей широкого применения (например, редукторов, тормозных устройств, муфт, зубчатых колес и др.) производство их часто выделяют в отдельные самостоятельные цехи или отделения с учетом организации централизованного специализированного производства таких узлов и деталей для других заводов.

Цехи подразделяют и по типу производства. Тип производства является классификационной категорией в зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска. Изготовление разных деталей в цехе может быть организовано с учетом указанных факторов по-разному. Могут быть рабочие места, линии с массовым производством, если удается обеспечить рабочие места выполнением одной и той же операции. В то же

время на других участках работа может вестись в условиях серийного или мелкосерийного типов производства.

Поэтому тип производства цеха в целом устанавливают по типу производства, характерному для наибольшего количества рабочих мест.

На начальных этапах проектирования тип производства можно ориентировочно определить в зависимости от программы выпуска и массы изготавливаемых деталей по данным, приведенным в гл. 4 т. 1 настоящего учебника. Далее по мере выполнения технологических разработок данные о типе производства уточняются.

Необходимо иметь в виду условность границ, характеризующих тот или иной тип производства, а также то, что в связи с широким развитием гибкого автоматизированного производства (ГПС) будут постепенно стираться существенные различия в оборудовании производств различного типа.

Основными структурными подразделениями цеха являются производственные участки и линии, обеспечивающие изготовление деталей и сборку узлов и изделий, составляющих производственную программу цеха и завода. Помимо производственных участков и линий в состав цеха входят вспомогательные отделения и службы, обеспечивающие функционирование производственных участков. К вспомогательным относят отделения и участки системы инструментального обеспечения (отделения по восстановлению режущего инструмента, его ремонта, настройки и комплектования), транспортно-складскую систему, систему ремонтного и технического обслуживания (цеховая ремонтная база, подсистема сбора и переработки стружки, подсистема приготовления и раздачи охлаждающей жидкости), систему контроля качества изделия (контрольные и испытательные отделения), систему управления и подготовки производства.

Производственные системы каждого уровня могут характеризоваться различной степенью автоматизации и гибкости.

Так, в соответствии с ГОСТ 26208 – 84 ГПС – это совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, ГПМ, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного промежутка времени, обладающая свойством автоматической переналадки при производстве изделий различной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик (рис. 7.1).

ГПС включает в себя два основных комплекса: производственный (ПК) и управляющий вычислительный комплекс (УВК), управляющий потоками информации, заготовок, инструментов. В свою очередь ПК включает в себя технологический комплекс (ТК) – совокупность ГПМ и других видов технологического оборудования и систему обеспечения его функционирования в автоматическом режиме.

7.2. МАРКЕТИНГ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И ВЫБОР СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Маркетинг (от англ. market – рынок) – это рыночная концепция управления производственной, сбытовой и научно-технической деятельностью завода. При решении вопросов развития производства, его технического перевооружения и реконструкции особенно важно правильно определить перспективные объекты производства, потребность рынка в этих объектах как в ближайшее время, так и на значительную перспективу.

Основное направление маркетингового подхода к управлению научно-технической, производственной и сбытовой деятельностью предприятия заключается в производстве того, что продается, а не в продаже того, что производится. Этот принцип предопределяет создание производственных систем, способных гибко реагировать на

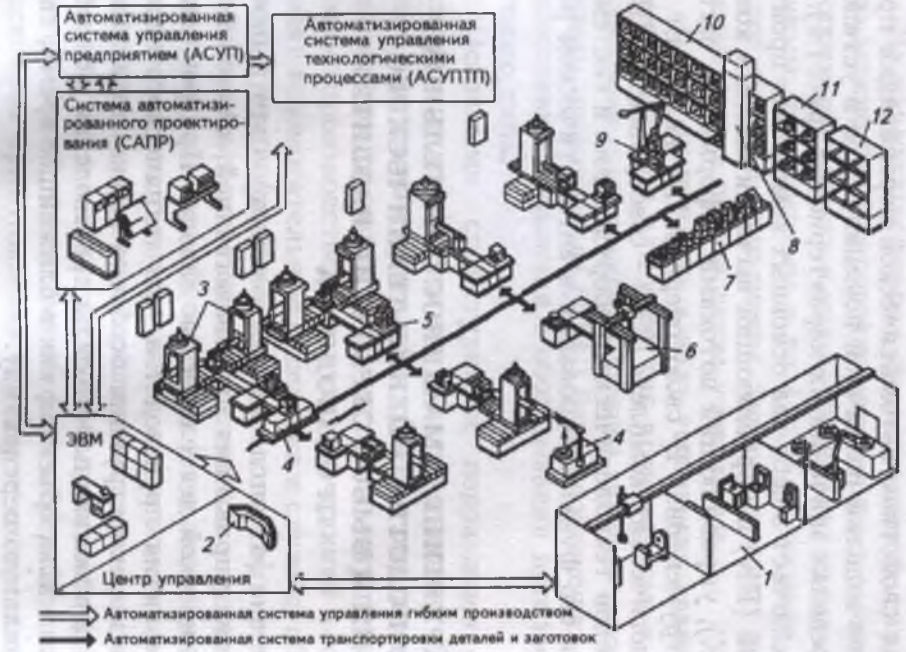


Рис. 7.1. ГПС: *1* – система инструментообеспечения; *2* – пульт оператора; *3* – многоцелевые станки; *4* – транспортный робот; *5* – накопитель с автоматической загрузкой; *6* – контрольно-измерительная машина; *7* – оперативный накопитель спутников; *8* – робот-штабелер; *9* – позиция загрузки заготовок на спутники; *10* – склад заготовок; *11* – склад инструментов; *12* – склад спутников и приспособлений

изменение спроса как по количеству изготавливаемых изделий, так и по их качеству и номенклатуре. При этом приходится решать, казалось бы, взаимоисключающие задачи – повышать гибкость производства, быстро менять выпускаемые модели в соответствии с запросами потребителя, оперативно внедрять новое оборудование и технологию в производство и одновременно иметь минимальные запасы деталей, узлов, комплектующих изделий и готовой продукции на складах, постоянно повышать качество изделий при снижении издержек производства.

Для маркетинга характерны следующие основные положения: 1) всестороннее исследование рынка и экономической коньюнктуры; 2) анализ производственных и сбытовых возможностей предприятия; 3) сегментация рынка; 4) гибкое реагирование производства на требования активного и потенциального спроса; 5) инновация; 6) планирование.

В ходе всестороннего исследования рынка и рыночной коньюнктуры анализируют емкость рынка, систему ценообразования и ценовую динамику, потребительские свойства товаров, способных составить конкуренцию, особенности построения и методы работы фирм-партнеров, каналы сбыта, специфику коммерческой работы и т.д.

Тщательному анализу подвергают производственные и сбытовые возможности самого предприятия. При этом проводят ревизии ассортимента выпускаемой продукции с целью выявления его конкурентоспособности, оценивают производственные мощности предприятия, его технический уровень, финансовые возможности, квалификацию кадров, условия формирования и деятельности коммерческих служб.

Основной целью данных исследований является определение стратегии и тактики последующей деятельности предприятия для успешной конкурентной борьбы на рынке.

Сегментация рынка состоит в выявлении сегмента рынка, т.е. конкурентной группы потребителей, работая

на которых можно в наибольшей степени использовать производственные возможности имеющегося оборудования и достичь преимуществ в сравнении с предприятиями и фирмами-конкурентами.

Помимо сегментации рынка по группам потребителей можно проводить сегментацию и по изделиям, анализируя какие именно параметры того или иного изделия могут быть привлекательны для потребителя и насколько предполагаемые конкуренты уже позаботились об этом.

Гибкое реагирование производства и сбыта на требования активного и потенциального спроса предполагает быструю адаптацию и мобильность производственной системы, коммерческих служб предприятия к изменению требований рынка и конкретных запросов потребителей. Принцип адаптации требует ориентации производства на дифференциацию и индивидуализацию выпускаемой продукции, постоянного ее обновления, а следовательно, постоянного технического перевооружения производства на базе ГПС.

Инновация подразумевает постоянное совершенствование и обновление выпускаемой продукции, разработку новых технологий и направлений научно-исследовательских и конструкторских работ, введение новизны в рекламную и коммерческую деятельности.

Планирование как принцип маркетинговой деятельности предполагает разработку производственно-сбытовых маркетинговых программ с целью реализации целей, возникающих перед фирмой в результате всестороннего анализа рынка и коньюнктурных прогнозов. Принцип планирования никак не противоречит принципу адаптации, а является его логическим дополнением.

Рассмотрение основных положений маркетинга показывает, что только комплексный подход ко всем аспектам производственно-сбытовой деятельности предприятия может обеспечить успешную его деятельность на рынке. При этом очень важна оценка технического уровня производства и постоянная работа по его повышению.

Оценка технического уровня механосборочного производства предполагает обследование действующего производства по следующим направлениям:

1) анализ номенклатуры деталей, определение типа производства и структуры станкоемкости и трудоемкости;

2) анализ уровня ТП;

3) анализ парка оборудования и производственных возможностей цехов и участков механической обработки и сборки;

4) анализ организационной структуры производства;

5) выявление проблемных вопросов и узких мест в механосборочном производстве;

6) анализ уровня ТПП.

Оценка технического уровня действующего производства связана с большим объемом аналитической работы, поэтому ее проводят перед началом проектных работ по техническому перевооружению или реконструкции производства в связи с переходом на выпуск новых, более перспективных изделий или при существенных изменениях объема выпуска.

Анализ номенклатуры деталей, структуры станкоемкости и определение типа производства – наиболее ответственный и трудоемкий этап проведения всех работ по обследованию производства. От качества его проведения зависит направление дальнейшего совершенствования механообрабатывающего производства. В ходе этого анализа для каждой детали указывают годовой выпуск, станкоемкость обработки на станках каждого вида (токарных, фрезерных, шлифовальных и т.д.), трудоемкость ручных (слесарных) и других операций (окрасочных, термических), а также суммарные затраты времени на изготовление одной детали и годового объема выпуска.

Аналогичные данные приводят при анализе номенклатуры собираемых изделий и трудоемкости выполнения основных операций сборки и испытания.

Дополнительно приводят данные, отражающие номенклатуру деталей и изделий, их габаритные размеры

(массу), наибольшие точностные параметры (квалитет, шероховатость), материал. Для выявления удельного веса деталей разных конструктивно-технологических групп проводят предварительное группирование деталей желательно в соответствии с классификатором ЕСКД.

На основе данного анализа определяют долю деталей и изделий в процентах от общей номенклатуры и от суммарной годовой станкоемкости и трудоемкости механической обработки и сборки изделий по следующим основным параметрам: по видам работ, точностным параметрам, материалам, видам заготовок, габаритным размерам (массе), конструктивным признакам (тела вращения с отношением $L/D \leq 2$, $2 < L/D \leq 10$, $L/D > 10$; плоские детали, корпусные детали и т.п.) и по серийности выпуска деталей (единичное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное, массовое производство).

Результаты анализа оформляют в виде таблиц и диаграмм.

Анализ уровня ТП включает в себя выявление структуры ТП и уровня технологического оснащения, применения смазочно-охлаждающих жидкостей и систем кодирования деталей с использованием конструкторских и технологических классификаторов. В ходе этого анализа устанавливают общее число разработанных ТП (маршрутных, операционных, маршрутно-операционных), число типовых и групповых ТП с оценкой количества охваченных ими деталей. Далее определяют общее количество используемых приспособлений, в том числе универсальных, специальных, групповых, универсально-сборных. Важным для анализа уровня ТП является анализ применяемого режущего инструмента с выявлением общего количества и удельного веса инструмента: стандартного, специального, сборного, с износостойкими покрытиями, твердосплавного, оснащенного сверхтвердым материалом, минералокерамического, абразивного и др.

Аналогичный анализ проводят по вспомогательному и измерительному инструменту; выявляют общее количе-

ство и удельный вес применяемых видов охлаждающих жидкостей и используемые при этом способы снабжения ими станков.

Автоматизация технологической подготовки требует определенной формализации исходной информации, поэтому важно проанализировать применяемые системы кодирования информации о деталях, установить соответствие их ЕСКД и ЕСТПП.

Анализ парка оборудования и производственных возможностей цехов и участков предполагает выявление технологической и возрастной структур парка оборудования, удельного веса прогрессивного оборудования, планового объема работ, производственной мощности участков цехов, дефицита и излишков оборудования и рабочих. В ходе этого анализа определяют общее количество оборудования и структуру станочного парка, т.е. удельный вес станков определенного вида (токарных, сверлильно-расточных, фрезерных, зубообрабатывающих, шлифовальных и т.д.). При этом устанавливают и возрастной состав оборудования (до 5 лет, от 5 до 10 лет, от 10 до 20 лет, свыше 20 лет). Важной характеристикой станочного парка является удельный вес прогрессивного оборудования, к которому относят станки с ЧПУ, автоматы и полуавтоматы, ГПМ, робототехнические комплексы (РТК), агрегатные, специальные и прецизионные станки. Важными параметрами, характеризующими эффективность использования оборудования и его потенциальные возможности, являются коэффициенты сменности оборудования по видам и коэффициенты его загрузки.

Анализ загрузки оборудования и численности работающих позволяет оценить эффективность его использования и наличие свободных мощностей. Как правило, структура станкоемкости выпускаемых изделий по видам работ должна соответствовать структуре станочного парка (с учетом сменности работы станков). Несоответствие указанных структур приводит к перегрузке одних станков и недоиспользованию других.

Поэтому в ходе анализа номенклатуры выпускаемых, а особенно перспективных изделий сопоставление структуры трудоемкости изготовления изделий по видам работ и структуры имеющегося станочного парка позволяет сделать вывод о масштабах технического перевооружения (реконструкции) производства или о нецелесообразности проведения указанных работ на рассматриваемом заводе, о поиске других объектов для инвестирования или о проектировании и создании нового производства.

Выявление проблемных вопросов и узких мест в механосборочном производстве связано с определением наиболее загруженных видов оборудования, установлением групп деталей и операций, которые лимитируют и сдерживают весь производственный процесс, нарушают ритмичность работы цехов. При этом выявляют также операции с тяжелым, монотонным ручным трудом и вредными условиями работы. Решению этих вопросов в первую очередь должны способствовать предполагаемые проектные работы.

Анализ уровня ТПП включает в себя определение производственных возможностей цехов подготовки производства по изготовлению СТО, а также оценку производственных возможностей технологических служб отдела главного технолога и цеховых технологических бюро по разработке технологической документации, управляющих программ для станков с ЧПУ, конструкторской документации на СТО. При этом устанавливают численный состав технологов и конструкторов, количество разрабатываемых ТП, СТО и управляющих программ, наличие технических средств и программного обеспечения автоматизации ТПП.

Результаты анализа технического уровня производства оформляют в виде таблиц и диаграмм и вместе с краткой пояснительной запиской составляют альбом обследования предприятия. Альбом утверждает руководство предприятия-изготовителя и предприятия (фирмы), проводящего обследования.

После этого альбом становится основой для выбора стратегии развития производства, определения путей и направлений его совершенствования.

Выбор стратегии развития производства базируется на проводимых маркетинговых исследованиях, связан с определением объекта производства, объема выпуска, оценкой существующих возможностей предприятия и предполагает решение вопроса о выборе вариантов технического перевооружения производства на существующих площадях, реконструкции основных цехов производства, строительства нового предприятия или существенного расширения существующего на новых площадях.

Техническое перевооружение связано с применением новых технологий, заменой части оборудования, изменением состава участков и линий и планов их расположения, совершенствованием организационной структуры, а также с проведением работ по механизации и автоматизации производства.

Реконструкция производства дополнительно предусматривает расширение действующих цехов путем строительства дополнительных пролетов к существующим цехам, возведение новых производственных зданий на месте старых или на свободных площадях.

Новое строительство связано с большим объемом проектных и строительно-монтажных работ, требует больших инвестиций, а поэтому данный вариант требует наиболее глубокого и полного технико-экономического обоснования.

Выбор того или иного варианта прежде всего зависит от технического уровня действующего производства, от того, в какой мере действующие технологические и производственные процессы могут быть эффективно использованы при производстве новых изделий в требуемом объеме. Следует иметь в виду, что наиболее быструю отдачу и окупаемость вложенных средств получают при техническом перевооружении и реконструкции производства. Практика показывает, что средства, затраченные на ре-

конструкцию производства, окупаются в три раза быстрее, чем на новое строительство. Техническое перевооружение может обеспечить еще более быструю отдачу вложенных средств.

Выбор стратегии развития производства требует глубокого технико-экономического обоснования и в проектной практике оформляется как задание на проектирование.

7.3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

При разработке проектов технического перевооружения, реконструкции и расширения производства необходимо обеспечить их высокую эффективность.

Основой любого производства является ТП, поэтому при проектировании необходимо использовать высокопроизводительные энерго- и материалосберегающие технологии. Большое внимание следует уделять вопросам автоматизации производства, поэтому технологическое оборудование должно обеспечивать не только автоматизацию обработки и сборки, но и стыковаться с оборудованием и техническими средствами, объединяющими отдельные его виды в единый автоматизированный производственный комплекс.

Например, станки с ЧПУ для встраивания в состав ГПС должны стыковаться с промышленными роботами или другими устройствами для их автоматической загрузки, оснащаться системами диагностики; системы ЧПУ – иметь входы для стыковки с ЭВМ более высокого уровня и т.д.

Применяемые ТП и оборудование должны обеспечить необходимую гибкость производства, т.е. способность быстро перестраиваться на выпуск новой продукции.

При проектировании участков и цехов важным направлением является обеспечение высокого качества и надежности выпускаемых изделий. Поэтому большое внимание следует уделять оснащенности заводских лабораторий, цеховых контрольных и испытательных служб. Современное оборудование нужно оснащать АСУП, а в необходимых случаях и системами адаптации к изменяющейся производственной ситуации. Одним из важных направлений при проектировании является активное использование специализации и кооперации производства. Перед проектированием необходимо оценить возможности изготовления ряда деталей и комплектующих изделий на специализированных заводах (кузнечных, литейных, подшипниковых, метизных и др.). Продукция специализированных заводов, как правило, дешевле аналогичной продукции, изготавливаемой в небольшом количестве.

Снижению затрат на техническое перевооружение и реконструкцию цехов и заводов способствует активное использование типовых решений как в технологии, так и в строительстве.

В общем виде задачей проектирования является разработка проекта цеха или участка, обеспечивающего выпуск изделий определенной номеклатуры, требуемого качества и в заданном количестве при достижении минимальных приведенных затрат $З$ на годовой выпуск с учетом всех требований к охране труда:

$$З = C + E_{н}K \to \min,$$

где C – себестоимость годового выпуска; $E_{н}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_{н} = 1/T_0$, (где T_0 – срок окупаемости капитальных вложений); K – капитальные вложения на реализацию проекта, которые включают стоимость оборудования, инструмента, зданий, затраты на незавершенное производство, жилищное и культурно-бытовое строительство.

Проектированию производственной системы предшествует разработка задания на проектирование, которое

конструкцию производства, окупаются в три раза быстрее, чем на новое строительство. Техническое перевооружение может обеспечить еще более быструю отдачу вложенных средств.

Выбор стратегии развития производства требует глубокого технико-экономического обоснования и в проектной практике оформляется как задание на проектирование.

7.3. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

При разработке проектов технического перевооружения, реконструкции и расширения производства необходимо обеспечить их высокую эффективность.

Основой любого производства является ТП, поэтому при проектировании необходимо использовать высокопроизводительные энерго- и материалосберегающие технологии. Большое внимание следует уделять вопросам автоматизации производства, поэтому технологическое оборудование должно обеспечивать не только автоматизацию обработки и сборки, но и стыковаться с оборудованием и техническими средствами, объединяющими отдельные его виды в единый автоматизированный производственный комплекс.

Например, станки с ЧПУ для встраивания в состав ГПС должны стыковаться с промышленными роботами или другими устройствами для их автоматической загрузки, оснащаться системами диагностики; системы ЧПУ – иметь входы для стыковки с ЭВМ более высокого уровня и т.д.

Применяемые ТП и оборудование должны обеспечить необходимую гибкость производства, т.е. способность быстро перестраиваться на выпуск новой продукции.

При проектировании участков и цехов важным направлением является обеспечение высокого качества и надежности выпускаемых изделий. Поэтому большое внимание следует уделять оснащенности заводских лабораторий, цеховых контрольных и испытательных служб. Современное оборудование нужно оснащать АСУП, а в необходимых случаях и системами адаптации к изменяющейся производственной ситуации. Одним из важных направлений при проектировании является активное использование специализации и кооперации производства. Перед проектированием необходимо оценить возможности изготовления ряда деталей и комплектующих изделий на специализированных заводах (кузнечных, литейных, подшипниковых, метизных и др.). Продукция специализированных заводов, как правило, дешевле аналогичной продукции, изготавливаемой в небольшом количестве.

Снижению затрат на техническое перевооружение и реконструкцию цехов и заводов способствует активное использование типовых решений как в технологии, так и в строительстве.

В общем виде задачей проектирования является разработка проекта цеха или участка, обеспечивающего выпуск изделий определенной номеклатуры, требуемого качества и в заданном количестве при достижении минимальных приведенных затрат $З$ на годовой выпуск с учетом всех требований к охране труда:

$$З = C + E_{н}K \rightarrow \min,$$

где C – себестоимость годового выпуска; $E_{н}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_{н} = 1/T_0$, (где T_0 – срок окупаемости капитальных вложений); K – капитальные вложения на реализацию проекта, которые включают стоимость оборудования, инструмента, зданий, затраты на незавершенное производство, жилищное и культурно-бытовое строительство.

Проектированию производственной системы предшествует разработка задания на проектирование, которое

проводят по результатам обследования завода, оценки технического уровня производственной системы и технико-экономического обоснования предполагаемого технического перевооружения, реконструкции или расширения производства.

В задании на проектирование приводят качественную и количественную характеристики выпускаемой продукции, режим работы (сменность) цехов, решения о хозяйственном и производственном кооперировании, предварительные указания о разработке АСУП, требования по разработке вариантов проекта с использованием разных технологий или в расчете на разные объемы выпуска, предполагаемые объемы капитальных вложений и основные технико-экономические показатели лучших аналогичных производств, сроки строительства и очередность ввода мощностей, а также другие необходимые данные.

Под *режимом работы* понимают количество смен работы оборудования участка, цеха. Как правило, механосборочное производство проектируют в расчете на двухсменный режим работы. Однако дорогостоящее оборудование (многоцелевые станки, ГПС) с целью более быстрой его окупаемости целесообразно использовать для работы в три смены. Принятому режиму работы соответствует утвержденный нормативами эффективный (расчетный) годовой фонд времени работы оборудования и рабочих мест (табл. 7.1).

Проектирование ведут в одну (рабочий проект) и две стадии (проект и рабочая документация). Одностадийное проектирование выполняют при широком использовании типовых и повторных решений, а также при проектировании несложных объектов. Для сложных объектов с новой, неосвоенной технологией проектирование ведут в две стадии. Основные технические решения разрабатывают в проекте, проводят их технико-экономическую оценку и экспертизу и только после утверждения проекта заказчиком приступают к разработке рабочей документации.

Таблица 7.1. **Эффективный годовой фонд времени работы оборудования, ч**

Вид оборудования	Режим работы		
	односменный	двухсменный	трехсменный
Металлорежущее оборудование			
Станки массой, т:			
до 10	2040	4060	6060
10–100	2000	3985	5945
Станки с ЧПУ массой, т:			
до 10	–	3945	5855
10–100	–	3865	5740
Многоцелевые станки массой, т:			
до 10	–	3890	5775
10–100	–	3810	5650
Агрегатные станки	–	4015	5990
Автоматические линии	–	3725	5465
ГПМ массой, т:			
до 10	–	–	5970 (7970)
10–100	–	–	5710 (7680)
Рабочие места сборки и сборочное оборудование			
Рабочие места сборщиков:			
с ручной сборкой	2070	4140	6210
с механизированной сборкой	2050	4180	6085
Сборочное оборудование	2000	3975	5930
Автоматические линии	–	3725	5465
Испытательные стенды	2020	4015	5990

Примечание. В скобках указаны фонды с учетом времени работы оборудования в выходные и праздничные дни.

Рабочий проект (проект) в общем случае включает следующие разделы: общую пояснительную записку; генеральный план и транспорт; технологические решения; научную организацию труда рабочих и служащих, управление предприятием; строительные решения; организацию строительства; охрану окружающей среды; жилищно-гражданское строительство (в необходимых случаях); сметную документацию; паспорт рабочего проекта (проекта).

Технологическая часть проекта является стержневой. При ее разработке необходимо проработать вопросы технологичности конструкций изделий, спроектировать ТП; определить трудоемкость и станкоемкость изготовления изделий; установить состав и количество оборудования, состав и количество работающих; определить площади и размеры участков и цехов; разработать планы расположения участков и служб цеха, планы расположения оборудования; определить параметры системы обеспечения функционирования; установить потребность в основных видах материалов и при необходимости разработать задания для строительного, сантехнического и энергетического проектирования.

С решением указанных вопросов неразрывно связаны разработка структуры управления и АСУП, научная организация труда, решение экономических и других вопросов.

После утверждения рабочего проекта *разрабатывают рабочую документацию*: спецификации применяемого оборудования; рабочие чертежи фундаментов, специального оборудования, подвесных конвейеров и других транспортных систем, а также технологической оснастки; монтажные планы и разрезы цехов; проектно-сметная документация на строительство или реконструкцию зданий; сметная документация по определению затрат на техническое перевооружение, реконструкцию действующего или создания нового производства и другие материалы.

7.4. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ПОСТРОЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

7.4.1. Методы технологического проектирования производственных систем

Производственную программу цеха, участка, по которой понимают совокупность изделий установленной номенклатуры, выпускаемых в заданном объеме в течение года, определяют исходя из производственной программы завода с учетом установленного процента запасных частей.

В условиях рынка необходимо иметь резервные мощности для маневра, поэтому этот фактор также должен быть учтен при определении производственной программы.

В зависимости от типа производства и этапа проектирования производственная программа может быть точной, приведенной и условной. В соответствии со способом задания применяют методы проектирования по точной, приведенной или условной программе.

Проектирование по точной программе предусматривает разработку подробных ТП обработки или сборки с техническим нормированием на все детали или сборочные единицы, входящие в производственную программу цеху. Этот метод применяют для проектирования участков, отделений и цехов крупносерийного и массового типов производства. В этом случае производственная программа представляет собой ведомость, включающую полный перечень деталей или сборочных единиц, подлежащих обработке или сборке в данном цехе, с указанием их количества и массы, а для механических цехов – вида заготовок и материалов.

Проектирование по приведенной программе применяют для проектирования цехов средне- и мелкосерийного типов производства. Это объясняется тем, что при значительной номенклатуре объем проектных и технологиче-

ских разработок становится очень большим и для его сокращения реальную многономенклатурную программу заменяют приведенной, выраженной ограниченным числом представителей, эквивалентной по трудоемкости фактической многономенклатурной программе.

С этой целью все детали или сборочные единицы разбивают на группы по конструктивным и технологическим признакам.

В каждой группе выбирают деталь или сборочную единицу-представитель, по которой далее ведут расчеты. На указанные представители разрабатывают ТП обработки или сборки и путем технического нормирования или иным способом определяют трудоемкость их обработки или сборки.

Рекомендуются следующие соотношения между массой и годовым объемом выпуска объекта-представителя и других объектов производства, входящих в группу:

$$0,5m_{\max} \le m \le 2m_{\min},$$
$$0,1N_{\max} \le N \le 10N_{\min},$$

где $m_{\max}$, $m_{\min}$; $N_{\max}$ и $N_{\min}$ – соответственно наибольшие и наименьшие значения масс и годовых объемов выпуска объектов производства, входящих в группу. Если указанные соотношения не выдерживаются, необходимо группу разделить на две или более групп.

Вопрос формирования групп и выбора типовых представителей является очень ответственным, так как от этого зависит точность последующих технологических расчетов и проектных решений.

В практике проектирования любой объект производства, входящий в группу, может быть приведен по трудоемкости к типовому представителю с учетом различий в массе, программе выпуска, сложности обработки или сборки и других параметрах. Общий коэффициент приведения

$$K_{\text{пр}} = K_1 K_2 K_3 \cdots K_n,$$

где K_1 – коэффициент приведения по массе; K_2 – коэффициент приведения по серийности; K_3 – коэффициент приведения по сложности; K_n – коэффициент приведения, учитывающий другие особенности собираемого изделия, например различие в точности изделий (в станкостроении), наличие комплектующих поставок по кооперации отдельных узлов или агрегатов и др.

Коэффициент приведения по массе для геометрически подобных деталей определяют по формуле

$$K_1 = \sqrt[3]{(m_i/m_{\text{пред}})^2},$$

где m_i и $m_{\text{пред}}$ – соответственно масса рассматриваемой детали и детали-представителя. Физически коэффициент K_1 выражает отношение площадей поверхности детали рассматриваемой группы и детали-представителя.

Коэффициенты приведения, учитывающие различия в массе собираемых изделий, определяют по формулам

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{\sum m_i}{\sum m_{\text{пред}}}\right)^2}, \quad \text{или} \quad K_1 = \sqrt[3]{\frac{\sum m_i}{\sum m_{\text{пред}}}},$$

где $\sum m_i$ и $\sum m_{\text{пред}}$ – соответственно суммарная масса деталей рассматриваемого изделия группы и изделия-представителя. Первая формула пригодна при большом объеме пригоночных работ, вторая – при малом.

Коэффициент приведения по серийности учитывает изменение трудоемкости обработки или сборки при изменении программы выпуска. Это обусловлено, например, большей целесообразностью применения более совершенного приспособления, сокращающего время установки детали при обработке или сборке, если программа выпуска увеличивается. В практике проектирования значение этого коэффициента определяют по эмпирической формуле

$$K_2 = (N_{\text{пред}}/N_i)^{\alpha},$$

где $N_{\text{пред}}$ и N_i – соответственно программа выпуска изделия-представителя и приводимого изделия; α – показатель степени, принимаемый равным 0,15 для объектов легкого и среднего машиностроения и 0,2 для объектов тяжелого машиностроения.

Коэффициент приведения по сложности K_3 учитывает влияние конструктивных факторов на станкоемкость обработки или трудоемкость сборки. Так, увеличение точности обработки и ужесточение требований по шероховатости поверхности ведут к увеличению станкоемкости обработки деталей. Трудоемкость сборки, например, существенно зависит от числа сопрягаемых элементов в конструкции изделия, точности сопряжения и многих других факторов, учесть которые очень сложно.

В общем виде коэффициент приведения по сложности можно представить в виде произведения коэффициентов регрессии, учитывающих корреляционные связи между конструктивными факторами и трудоемкостью приводимых изделий:

$$K_3 = P_1^{\alpha_1} P_2^{\alpha_2} \dots P_n^{\alpha_n},$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ – коэффициенты, учитывающие отличие соответствующих технических параметров в рассматриваемом изделии и изделии-представителе; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – показатели, указывающие на степень влияния соответствующих технических параметров на трудоемкость обработки или сборки.

Для конструктивно подобных деталей обычно бывает достаточным учесть различие в точности изготовления рассматриваемой детали и детали-представителя, оценив, например, средний квалитет $\overline{K}_{IT}$ обрабатываемых поверхностей. В этом случае значение коэффициента K_3 можно определить по следующим данным:

$\overline{IT}$	6	7	8	11	12	13
K_3	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8

В приведенных данных средний квалитет детали-представителя принят равным одиннадцатому. В других случаях указанные значения могут быть скорректированы делением K_3 рассматриваемой детали на коэффициент, приведенный для детали-представителя.

При наличии у детали рассматриваемой группы значительных конструктивных отличий от детали-представителя коэффициент K_3 определяют экспертным путем.

Произведение всех коэффициентов приведения дает общее значение коэффициента приведения для рассматриваемой детали, сборочной единицы или изделия. Приведенную программу выпуска для каждого изделия определяют произведением заданной программы выпуска на общий коэффициент приведения.

В результате этого вместо заданной многономенклатурной программы получают эквивалентную по трудоемкости приведенную программу, выраженную в ограниченном числе изделий-представителей:

$$N_{\text{пр}} = \sum N_i K_{\text{пр}\,i},$$

где N_i – годовая программа выпуска i-й детали (изделия); $K_{\text{пр}i}$ – общий коэффициент приведения этой детали, изделия. По этой программе ведут все последующие расчеты, сохраняя однако неизменной общую массу изделий для проектирования транспорта и складов.

Проектирование по условной программе применяют, когда невозможно точно определить номенклатуру и технические характеристики будущих машин (опытное, единичное производство). В этом случае также выбирают изделие-представитель – условную машину, для которой ведут технологическое проектирование на заданную (условную) годовую программу.

При проектировании цеха, участка наряду с характеристикой и номенклатурой выпускаемых изделий необходимо иметь достоверные данные о трудоемкости изделия. *Трудоемкостью изделия* T называют время, затраченное

на его изготовление, выражаемое в человеко-часах. Определяют трудоемкость по нормативам, отражающим применение в производстве современных методов и средств. Расчетная трудоемкость включает в себя все нормируемое по ТП время, как станочное, так и ручное, причем при многостаночном обслуживании суммарное время обработки на станках, обслуживаемых одним рабочим, делят на число обслуживаемых станков.

При расчете количества оборудования необходимо иметь данные о *станкоемкости изделия* $T_{ст}$, т.е. о времени, затраченном на изготовление изделия, выражаемом в станко-часах работы оборудования.

Связь между трудоемкостью и станкоемкостью может быть выражена следующим образом:

$$T = T_{ст}/K_{м} + T_{руч},$$

где $K_{м}$ – среднее число станков, обслуживаемых одним рабочим; $T_{руч}$ – трудоемкость ручных операций, $T_{руч} = (0,03 \ldots 0,08)\,T$.

В зависимости от этапа проектирования, типа производства и других факторов трудоемкость (станкоемкость) механической обработки детали или сборки изделия может быть определена различными способами.

Проектирование цехов и участков массового и крупносерийного типов производства ведут по точной программе. Этот метод предполагает наличие детально разработанных ТП обработки и сборки с техническим нормированием. При этом трудоемкость обработки комплекта деталей или сборки узлов на одно изделие для массового производства равна

$$T_{и} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} t_{ш_i j},$$

а для серийного производства

$$T_{и} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} t_{ш-к_i j},$$

где n – число деталей в изделии при определении трудоемкости обработки или узлов – при определении трудоемкости сборки; m – число операций обработки детали или сборки узла; $t_{\text{ш}ij}$ и $t_{\text{ш-к}ij}$ – соответственно штучное и штучно-калькуляционное время выполнения j-й операции обработки i-й детали или сборки i-го узла.

Суммарная трудоемкость сборки изделия $T_{\text{сб.и}}$ дополнительно включает трудоемкость общей сборки $T_{\text{общ}}$ изделия из предварительно собранных узлов, т.е. $T_{\text{сб.и}} = T_{\text{уз}} + T_{\text{общ}}$, где $T_{\text{уз}}$ – трудоемкость узловой сборки.

При отсутствии детально разработанных ТП изготовления всех деталей их трудоемкость (станкоемкость) может быть определена аналоговым методом по трудоемкости (станкоемкости) деталей-представителей с помощью коэффициента приведения:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{пред}} K_{\text{пр}},$$

где $T_{\text{и}}$ и $T_{\text{пред}}$ – соответственно трудоемкости обработки или сборки рассматриваемой детали или изделия данной группы и детали- или изделия-представителя.

При разработке проектов технического перевооружения или реконструкции цехов, а также в тех случаях, когда объектом проектирования является освоенное изделие, трудоемкость (станкоемкость) обработки деталей этого изделия или трудоемкость его сборки можно определить по заводским данным, полученным в ходе предпроектного обследования, с учетом внедрения новой технологии, средств автоматизации и механизации производственных процессов в проектируемом производстве.

В ходе предпроектного обследования выявляют как суммарную станкоемкость обработки деталей, так и станкоемкость обработки на основных группах оборудования, а для сборки – трудоемкости узловой сборки, слесарно-пригоночных работ, общей сборки изделия, испытания изделия в целом и его отдельных сборочных единиц.

Одновременно при этом определяют наиболее "узкие" места производства, т.е. те операции и ТП, которые в наибольшей степени сдерживают расширение производства и

улучшение качества продукции. При этом устанавливают объемы работ, переводимые на станки с ЧПУ, ГПМ, многоцелевые станки и другое прогрессивное оборудование, и корректируют их с помощью коэффициента прогрессивности $K_{пг}$, учитывающего более высокую производительность этого оборудования:

$$T_{пi} = T_{бi}/K_{пг},$$

где $T_{пi}$ и $T_{бi}$ – соответственно станкоемкость вида работ по проектному и базовому вариантам.

Абсолютные значения коэффициентов прогрессивности зависят от сложности обрабатываемых деталей, технического уровня действующего производства, партии запуска. Чем сложнее обрабатываемые детали, ниже технический уровень действующего производства и меньше партия запуска, тем выше значение коэффициента $K_{пг}$ и наоборот.

Так, при переводе деталей типа тел вращения на станки с ЧПУ и ГПМ рекомендуется принимать $K_{пг} = 1,5 \ldots 3$, а при переводе на токарные многоцелевые станки – $K_{пг} = 4 \ldots 5$. При переводе корпусных деталей на многоцелевые станки и ГМП в зависимости от указанных выше факторов значение коэффициента $K_{пг}$ колеблется от 2 до 6.

При дипломном проектировании расчетную станкоемкость на годовую программу участка или цеха можно ориентировочно определить по формуле

$$T_{\Sigma} = T_{\Sigma з} K_{из} K_{у},$$

где $T_{\Sigma з}$ – годовая станкоемкость изготовления деталей по заводским данным; $K_{из}$ – коэффициент изменения станкоемкости на годовой объем, $K_{из} = N_{п}/N_{б}$, ($N_{п}$ и $N_{б}$ – соответственно годовой объем выпуска деталей в проектном и базовом вариантах); $K_{у}$ – коэффициент ужесточения, представляющий собой отношение станкоемкости обработки деталей на участке или в цехе после внедрения новой технологии к станкоемкости обработки аналогичных деталей по действующей на заводе технологии.

Значение коэффициента ужесточения при дипломном проектировании можно определить на основе сопоставления станкоемкости обработки деталей-представителей по сравниваемым вариантам, т.е. по тем деталям, на которые разрабатывали новые ТП:

$$K_{\text{у}} = T_{\text{п}} / T_{\text{б}},$$

где: $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{б}}$ – проектная и заводская станкоемкость обработки деталей-представителей.

При механообработке трудоемкость разметочных, моечных, слесарных и других дополнительных работ зависит от типа производства (в процентах от станкоемкости): 8...15 % для единичного и мелкосерийного, 5...10 % для среднесерийного, 3...6 % для крупносерийного и массового типов производства.

При укрупненном проектировании, применяемом на этапе технико-экономического обоснования проекта, станкоемкость механической обработки деталей изделия на годовой выпуск можно определить по показателям станкоемкости механической обработки комплекта деталей одного изделия или одной тонны массы изделия.

Трудоемкость сборки изделия можно найти по станкоемкости механической обработки при изготовлении деталей данного изделия. Для этого необходимы данные о соотношении между трудоемкостью сборки и станкоемкостью механической обработки в аналогичных производствах.

Трудоемкость сборки изделия подразделяют на трудоемкость слесарно-пригоночных работ, узловой и общей сборки (табл. 7.2).

Из приведенных в табл. 7.2 данных видно, что в условиях единичного и мелкосерийного типов производства увеличивается доля слесарно-пригоночных работ и общей сборки. Это объясняется тем, что сборку в основном ведут на одном рабочем месте (стенде), а требуемая точность ответственных сопряжений обеспечивается пригон-

Таблица 7.2. **Структура трудоемкости сборочных работ в различных типах производства**

Вид сборочных работ	Тип производства				
	единичное	мелкосерийное	серийное	крупносерийное	массовое
Слесарно-сборочные работы	25–30	20–25	15–20	10–15	–
Узловая сборка	5–10	10–15	20–30	30–40	45–60
Общая сборка	60–70	60–70	50–60	45–60	40–55

кой. В условиях массового производства с целью сокращения цикла сборки и увеличения производительности изделие разбивают на отдельные узлы, сборку которых ведут параллельно.

7.4.2. Методика выбора структуры производственных систем

При разработке проектов цехов важным этапом является синтез его структуры, т.е. обоснованный выбор состава отделений, участков и линий. Это очень сложный вопрос, требующий тщательного анализа номенклатуры и объемов выпускаемой продукции, технологии изготовления и организационных форм выполнения.

Относительно просто этот вопрос решается для цехов массового и крупносерийного типов производства, где естественной является целевая предметная специализация цехов (цехи моторов, шасси и др.) и участков (участок обработки деталей и сборки коленчатого вала с маховиком, участок изготовления деталей и сборки масляного насоса и др.). Число поточных линий обработки, как правило, определяется числом изготавливаемых деталей. Такая структура обеспечивает прямоточность производственного процесса, когда в конце поточных линий обработки располагаются участки узловой сборки, а дальше – сборка агрегатов или изделий.

Более сложно решить задачу структуризации для цехов среднесерийного, мелкосерийного и единичного типов производства, где обширная номенклатура деталей и изделий, изготавливаемых последовательно на одних и тех же местах, как бы предопределяет технологическую специализацию участков с использованием однотипного оборудования (токарный, фрезерный, шлифовальный участки и т.д.). При такой структуре возникают многочисленные прямые и возвратные внешние связи между технологически специализированными участками для изготовления множества деталей *Д* (рис. 7.2, *а*). Это связано с тем, что рекомендации о структуре преимущественно строили на основе анализа содержания операций и ТП, не затрагивая вопросов взаимосвязи и взаимодействия операций как системы в целом.

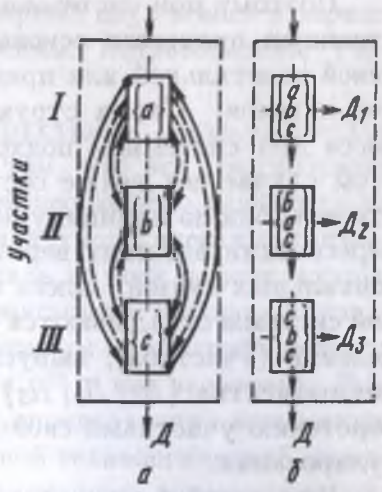


Рис. 7.2. Схема структуры производственной системы, сформированной при традиционном (*а*) и системном (*б*) подходах:
I...*III* – участки обработки; *а*, *б*, *с* – группы станков одинакового технологического назначения

При системном подходе решающим является взаимосвязь, единство и эффективность работы как отдельных участков (подсистем), так и цеха (системы) в целом. Выбор структуры при этом проводят по результатам анализа и синтеза составных частей системы как интегрированного целого объекта с качественно новыми свойствами. Причем чем ближе и полнее цель составной части соответствует цели всей системы, тем эффективность производственной системы выше.

Поэтому при системном подходе структура производственных процессов основывается на использовании целевой подетальной или предметной специализации участков и цехов. Схема структуры производственного процесса при системном подходе показана на рис. 7.2, *б*. В этом случае цех также состоит из трех участков, но построены они по принципу подетальной специализации при пересечении внешних вертикальных и внутренних горизонтальных связей. Здесь конечные цели производственной системы складываются из целей обособленных подразделений (участков), выпускающих законченные детали-подмножества $\{Д_1, Д_2, Д_3\} \subset Д$, что способствует приобретению участками свойств самоорганизации и саморегулирования.

При такой форме организации производственных систем реализуются три структурообразующих принципа:

1) целевая подетальная или предметная специализация цехов и их участков, а следовательно, пространственная концентрация производства однородных деталей или сборочных единиц;

2) унификация ТП с использованием групповых методов изготовления деталей или сборочных единиц и, как результат – определенная концентрация, специализация и комплектность необходимого для этого оборудования или технологического оснащения;

3) централизация выдачи цехам и участкам целевых программ на изготовление комплектного состава деталей изделия со стороны органов оперативного управления, а значит, определенная концентрация во времени изготовления комплекта деталей, что важно для сокращения цикла изготовления законченных изделий.

Методика формирования подетально групповых участков (ПГУ), групповых поточных линий (ГПЛ) и высших их форм ГАУ и ГАЛ включает три этапа: 1) анализ номенклатуры деталей изделий по конструктивно-технологическим признакам, 2) анализ планово-организационных характеристик деталей (их трудоемкости, про-

граммы выпуска) и 3) синтез первых двух этапов и определения структуры производственных подразделений. Рассмотрим их более подробно.

1. Задача анализа конструктивно технологической общности деталей состоит в том, что все многообразие обрабатываемых цехом деталей необходимо разделить на группы по конструктивным и технологическим признакам. С этой целью любую деталь из всей номенклатуры, выражаемой множеством $Д$, описывают набором признаков $P\{P_i,\ i = 1, 2, \ldots n\}$, по которым ее классифицируют. Этими признаками могут быть: P_1 – вид заготовки; P_2 – габаритные размеры деталей, определяющие возможную габаритную группу; P_3 – основной технологический маршрут, характеризуемый преобладающими видами обработки, например токарной (Т), токарной и фрезерной (Т – Ф), токарной, фрезерной, сверлильной (Т–Ф–С), сверлильной, фрезерной, расточной (С–Ф–Р) и т.д., и указывающий на комплект необходимого оборудования для основной обработки деталей группы; P_4 – конструктивный тип деталей (корпусные детали, рычаги, валы и т.д.), определяющий характер технологических операций и СТО.

2. Анализ действующих участков с подетальной специализацией показывает, что не всегда удается обеспечить необходимую загрузку оборудования участка и линии обработкой деталей только одной конструктивно-технологической группы. При использовании групповой обработки за участками закрепляют детали, входящие в разные группы, если их можно обработать на одних и тех же станках (например, корпусные детали, рычаги, кронштейны и планки). Поэтому необходимо дополнительно группировать детали по признакам станкоемкости и объема выпуска (признак P_5).

В качестве показателя, синтезирующего признаки станкоемкости и объема выпуска, можно использовать относительную станкоемкость i-й детали:

Таблица 7.3. **Фрагмент матрицы**

Конструктивно-технологический признак	Заданная совокупность							
Вид заготовки и материал (Р1)	1. Стальной пруток							...
Габаритные размеры детали или масса (Р2)	1.1. d < 50 мм			1.2. d = = 50 ... 100 мм		1.3. d = = 100 ... 200 мм		...
Основной маршрут обработки	Р-Ф-Шк	Т-Ф	Т	Р-Ф-Зд	Т	Р-Зд-С	Т	...
Конструктивный тип детали (Р4):								
валик (01)	24/1,25	61/1,74	42/0,96		14/0,67		17/0,79	...
втулка (02)	43/1,85	96/2,50	67/2,80					...
шестерня (03)				14/2,48		46/2,75		...
...								...
...								...
...								...
стойка (16)								...
Всего деталей	82	197	123	36	44	98	69	...
Сумма $K_{дт}$	5,54	4,68	4,36	5,05	1,95	5,53	2,75	

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: карная; Зд – зубодолбежная; С – сверлильная; Шп – плоскошлифовальная; обработка.

$$K_{дi} = N_i \sum_{j=1}^{k_{oi}} t_{ш\,i,j} / 60 Ф_o K_в,$$

где N_i – годовая программа выпуска i-й детали; k_{oi} – число операций обработки i-й детали; $t_{ш\,i,j}$ – штучное время j-й операции обработки i-й детали; $Ф_o$ – эффективный фонд времени работы оборудования в год; $K_в$ – средний коэффициент выполнения норм в цехе (учитывается при анализе действующих цехов).

Нетрудно заметить, что коэффициент $K_{д\,i}$ представляет собой расчетное значение числа "обезличенных" станков, необходимых для изготовления заданного объема

деталей – 1872 наименования

...	5. Чугунная отливка							Всего деталей Сумма $K_{дm}$
	5.1. m < 5 кг			5.2. m = =5...30 кг		5.3. m = = 30...150 кг		
...								
...	Т-Ф-С	Ф-Шп	С-Т-Д	С-Фв-С	Т-Зд	Фг-Рс-Шп	С-Т-Шп	
...								264/8,2
...								372/16,9
...					21/1,59			123/10,2
...								
...								
...								
...				10/1,85		27/1,55	9/0,8	77/3,4
...	115 / 7,12	54 / 4,63	53 / 6,25	86 / 7,14	79 / 6,26	104 / 8,45	59 / 13,9	1872 / 125,7

Р-Ф-Шк – револьверная, фрезерная, круглошлифовальная обработка; Т – то-
Фв – вертикально-фрезерная; Фг – горизонтально-фрезерная; Рс – расточная

N_i выпуска деталей при рассматриваемой технологии и режиме работы.

Суммарная относительная станкоемкость обработки $K_{дm}$ по m-й группе

$$K_{дm} = \sum_{i=1}^{f} K_{дi},$$

где f – число наименований деталей в группе.

Следует иметь в виду, что в группу могут быть включены и детали других конструктивных типов. Наиболее удобно результаты анализа представлять в виде матрицы (табл. 7.3). Для удобства последующего анализа при формировании матрицы по строкам целесообразно располагать технологические маршруты в порядке возра-

стания их сложности по признаку P_3, т.е. вначале более простые маршруты их обработки, а далее (по строке) более сложные. По вертикали в столбцах рекомендуется располагать группы деталей в порядке их усложнения по признаку P_4. В каждую ячейку матрицы должны быть внесены данные о числе наименований деталей в каждой группе f (числитель) и показатель суммарной относительной станкоемкости обработки по группе $K_{дm}$ (знаменатель) по признаку P_5.

Принятая схема анализа конструктивно-технологической общности деталей совместно с данными об их суммарной относительной станкоемкости позволяет выявить группы деталей, основные операции обработки которых могут быть выполнены на одном участке (линии).

3. При синтезе групп деталей, обрабатываемых на участке, вначале необходимо обосновать рациональное число участков цеха, а затем и их подетальную специализацию.

Практика показывает, что рациональное число станков в составе обособленных участков и линий с их подетальной специализацией составляет 25 ... 35 единиц, а для гибкого автоматизированного производства 6 ... 18 станочных модулей. Причем число модулей в составе ГАЛ по опыту отечественного и зарубежного станкостроения колеблется от 3 до 9 единиц. Это объясняется значительным возрастанием внецикловых потерь в системе взаимосвязанных станочных модулей.

Число участков $n_{уч}$ в цехе ориентировочно определяют делением общего числа станков $С_п = \sum_{m=1}^{s} K_{д\,m}$, где s – число групп деталей, изготавливаемых в цехе, на принимаемое среднее число станков $С_{уч}$ на одном участке, т.е. $n_{уч} \approx С_п / С_{уч}$.

Подбором групп деталей необходимо обеспечить создание участков с примерно одинаковым числом станков,

для чего следует соблюсти следующее условие:

$$\sum_{m=1}^{m_{\text{уч}}} K_{\text{д}m} = (1 \pm 0,1)\, C_{\text{уч}},$$

где $m_{\text{уч}}$ – число групп деталей, закрепляемых за участком.

При этом целесообразно начинать с формирования участка изготовления наиболее сложных деталей. Группы этих деталей располагаются в правой нижней части матрицы (см. табл. 7.4). Критерием объединения групп деталей для обработки на одном участке является общность технологических задач, применяемого оборудования и оснастки.

Для выбора типа линии используют показатель средней относительной станкоемкости операции $K_{\text{о}i}$, определяемой для каждой детали $K_{\text{о}i} = \dfrac{K_{\text{д}i}}{k_{\text{о}i}}$. Коэффициент $K_{\text{о}i}$ численно выражает количество станков для выполнения i-й операции данной детали и одновременно представляет собой средний коэффициент загрузки станков в предположении однономенклатурной поточной линии.

Обобщение практических материалов показывает, что при $K_{\text{о}i} > 0,75$ целесообразно создание непрерывно-поточной линии, при $0,2 \le K_{\text{о}i} \le 0,75$ – многономенклатурных переменно-поточных линий, при $0,05 \le K_{\text{о}i} < 0,2$ – групповых поточных линий и при $K_{\text{о}i} < 0,05$ – подетальных групповых участков.

По результатам классификации, представленной в табл. 7.4, детали 1872 наименований объединены в 99 групп по конструктивному и технологическому подобию. Их суммарная относительная трудоемкость составила $\sum_{m=1}^{m=99} K_{\text{д}m} = 125,7$ расчетных единиц оборудования.

По результатам синтеза (см. табл. 7.4) созданы четыре ПГУ. В составе ПГУ 1 обработки сложных втулок и шестерен две ГПЛ для обработки сложных втулок

Таблица 7.4. **Фрагмент сводной матрицы синтеза**

Номер группы деталей	Конструктивный тип деталей	Основные станочные								
		Т	Т-Ф	Т-Ф-С	...	Р-Т-Шк	Т-Зд	Р-Зд-С	Р-Д-Зф	...
		ГПЛ 1.1. Обработка сложных								
02	Сложные втулки	67 / 2,8	96 / 2,5	71 / 4,35	...	43 / 1,85				
		ГПЛ *1.2. Обработка*								
03	Шестерни						21 / 1,59	46 / 2,75	14 / 2,48	...
		ПГУ 1. Изготовление сложных втулок и								
⋮	⋮									
15	Кронштейны	*ГПЛ 4.1. Изготовление кронштейнов,*								
16	Стойки	*ГПЛ 4.2. Изготовление стоек,*								
17	Шасси	*ГПЛ 4.3. Изготовление*								
		ПГУ 4. Изготовление корпусных и								

(ГПЛ 1.1) и шестерен (ГПЛ 1.2). Расчетное значение количества станков на первом участке равно 27,1 единиц оборудования.

В составе четвертого участка обработки крупных корпусных и плоскостных деталей три групповых поточных линии с расчетным значением количества основных станков, равным 28,2 шт. Участки подобраны так, что содержат примерно одинаковое число станков.

Рассмотренная выше методика выбора структуры цеха может быть реализована с применением ЭВМ. Возмож-

ПГУ и ГПЛ в составе цеха

операции							Всего деталей по участку
...	Ф-Шп	...	С-Фв-С	Ф-Рс-Шп	...	С-Ф-Рс-Шп	Сумма $K_{дт}$
втулок							372 16,9
шестерен							123 10,2
...							
шестерен							
				Всего деталей по ПГУ 1			495
				Сумма $K_{дт}$			27,1
рукояток и рычагов							
	14 1,35		15 0,95	...		6 0,5	95 5,2
мелких шасси и пластин							
			10 1,85	27 1,55	...	9 0,8	77 3,4
крупных шасси							
			23 3,35	47 7,15	...	28 5,54	124 19,6
плоскостных деталей							
				Всего деталей по ПГУ 4			296
				Сумма $K_{дт}$			28,2
				Всего деталей по цеху			1872
				Сумма $K_{дт}$			125,7

ность рассмотрения на ЭВМ множества вариантов и выбор наилучшего из них способствует улучшению качества проектных работ и их ускорению.

Методической основой автоматизированного проектирования является использование математического аппарата теории распознавания образов. При этом решается задача разбиения всех находящихся в пространстве z точек на некоторое число изолированных множеств, достаточно удаленных между собой.

При формировании участков и линий указанный аппарат используют для определения групп деталей, которые могут быть обработаны на одном участке, линии. Меру близости $K_{(x_i, x_j)}$ между двумя группами деталей x_i, x_j определяют с помощью потенциальной функции

$$K_{(x_i, x_j)} = \frac{1}{1 + \alpha R^2_{(x_i, x_j)}},$$

где $\alpha = 1/n^2$ – коэффициент пропорциональности (n – число разрядов в кодах деталей); $R_{(x_i, x_j)}$, – величина, характеризующая расстояние между группами деталей x_i и x_j как точками пространства по ряду признаков $P = P_1, P_2, \ldots, P_n$.

В свою очередь функция $R_{(x_i, x_j)}$ имеет вид

$$R_{(x_i, x_j)} = \sqrt{(x_{1i} - x_{1j})^2 + (x_{2i} - x_{2j})^2 + \cdots + (x_{ni} - x_{nj})^2},$$

где $x_{ri} - x_{rj}$ – величина, характеризующая различие или близость между группами деталей x_i и x_j по r-му признаку. Ее значение можно получить вычитанием кодов групп деталей x_i и x_j.

При использовании этого метода необходимо применять кодирование групп деталей, отражающее в структуре кода важнейшие конструктивно-технологические признаки (параметры) деталей с учетом их значимости. Для этой цели можно использовать систему кодирования деталей, принятую в ЕСТПП, или другие системы, в которых отражаются признаки $P_1, \ldots, P_5$.

В частности, можно применить следующую относительно простую систему кодирования по рассмотренным ниже признакам с использованием двузначных кодов. Пусть по признаку вида заготовки P_1 группам деталей присваивают коды в порядке возрастания сложности заготовки. Например, для круглого проката код $P_{11} = 01$,

для фасонного $P_{12} = 02$, для отливок простых, средней сложности и сложных соответственно $P_{13} = 03$, $P_{14} = 04$, $P_{15} = 05$, для поковок $P_{16} = 06$ и т.д. По признаку габаритных размеров или массы P_2 изготавливаемые детали также кодируют в порядке возрастания размерного интервала. Например, мелкие, средние и крупные по габаритным размерам детали получают код $P_{21} = 01$, $P_{22} = 02$, $P_{23} = 03$ соответственно.

Кодирование маршрута или состава оборудования, используемого для обработки деталей группы (признак P_3), осуществляют последовательным набором двухзначных чисел, раскрывающих конкретный состав групп взаимозаменяемого оборудования в порядке его использования. Причем каждый вид оборудования с учетом возможности обработки на нем мелких, средних и крупных деталей получает коды в виде следующих одно за другим двухзначных чисел. Значения кодов разных видов оборудования должны составлять размерный ряд в порядке возрастания сложности оборудования. Например, вертикально-сверлильные станки (С) – 01,..., 03; токарные станки (Т) – 04,..., 06; револьверные (Р) – 07,..., 09; фрезерные (Ф) – 10,..., 12; шлифовальные (Ш) – 16, 17... и т.д. В этом случае состав оборудования для обработки (маршрут) сложной втулки Р – Т – Ф – С – Ш можно представить кодом 08,05,11,01,15.

При кодировании принадлежности детали к тому или иному конструктивному типу (признак P_4) каждой группе деталей присваивают код в порядке возрастания сложности. Например, валики $P_{41} = 01$, сложные втулки $P_{42} = 02$ и т.д. Код последней самой сложной конструктивной группы деталей будет равен общему числу групп деталей по данному признаку $P_{4m} = m_4$.

Планово-организационные параметры групп деталей, сформированных по признаку P_5 и выражаемых показателем относительной удельной станкоемкости $K_{дm}$ деталей группы, рекомендуется кодировать следующим образом:

Значение $K_{дт}$ . . .	$\leq 0,01$	$0,011 \ldots$ $\ldots 0,02$	$0,021 \ldots$ $\ldots 0,05$	$\ldots$	$1,31 \ldots$ $\ldots 3,5$	$> 3,5$
Код признака P_5 . .	01	02	0,3	$\ldots$	07	0,8

Укрупненный алгоритм решения задачи формирования ПГУ и ГПЛ приведен на рис. 7.3.

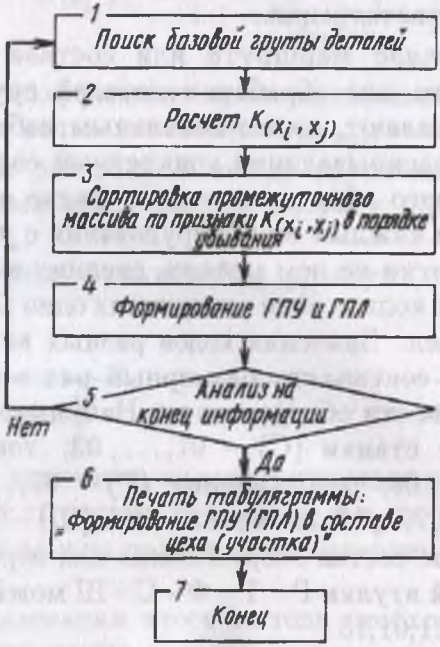


Рис. 7.3. Укрупненный алгоритм формирования ПГУ и ГПЛ

Исходной информацией здесь является матрица анализа состава деталей, представленная в соответствии с принятой системой кодирования. Из множества групп деталей осуществляют поиск базовой группы. Такой группой будет наиболее сложная группа x_i в конструктивном отношении по параметру P_4 и одновременно имеющая наиболее сложный маршрут обработки по параметру P_3. Далее последовательно рассчитывают меру близости $K(x_i, x_j)$

между каждой группой деталей (точкой) x_j и базовой группой деталей (точкой) x_i. По окончании расчетов полученные значения ранжируют в порядке убывания (блок 3) и формируют подмножество деталей для изготовления на одном участке, включая в него ранжированные по признаку $K_{(x_i, x_j)}$ группы деталей по нарастанию показателя $K_{д\,m}$ до требуемого значения $\sum_{m=1}^{m_{уч}} K_{д\,m} = (1+0,1)C_{уч}$. Из оставшегося множества групп деталей аналогично формируют новое подмножество деталей.

Для формирования ГПЛ внутри сформированных ПГУ критерием объединения групп деталей является не показатель $\sum_{m=1}^{m_{уч}} K_{д\,m}$, а мера их близости $K_{(x_i, x_j)}$.

Результаты исследований показывают, что для линий механообработки достаточно высокая мера близости обеспечивается при $\beta = 0,8 \ldots 0,85$, где β – минимальное значение коэффициента меры близости $K_{(x_i, x_j)}$. Таким образом, формирование групп деталей для ГПЛ завершается при выполнении условия

$$K_{(x_i, x_j)} \geq \beta.$$

Из оставшегося подмножества групп выбирается новая базовая группа – первая из групп, не вошедших в сформированную линию. Численное значение $K^*_{(x_i, x_j)}$ для этой группы принимают равным единице, а значения остальных корректируют путем деления на первоначальное значение $K_{(x_i, x_j)}$ деталей базовой группы.

В табл. 7.5 приведены результаты формирования на ЭВМ ПГУ 1 и двух ГПЛ в его составе. Сформированный участок включает 27,1 расчетных единиц станков для обработки 495 типоразмеров деталей. По структуре участок сформирован из двух ГПЛ для обработки сложных втулок (ГПЛ 1.1) и шестерен (ГПЛ 1.2). Для расчета были использованы данные, приведенные в табл. 7.3 и 7.4.

Таблица 7.5. **Формирование групповых поточных линий и состава участка ($\beta = 0,85$)**

Шифр			$K(x_i, x_j)$	$K^*(x_i, x_j)$	$K_{Дm}$	Число деталей в группе	Нарастающее значения $K_{Дm}$
участка	линии	группы деталей					
ПГУ 1	*ГПЛ 1.1*	0209	1,0	1,0	1,85	43	1,85
		0207	0,977	0,977	1,40	22	3,25
		0213	0,965	0,965	2,25	29	5,50
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		0202	0,882	0,882	2,50	96	14,1
		0201	0,864	0,864	2,80	67	16,9
					Итого по ГПЛ 1.1	372	16,90
	ГПЛ 1.2	0312	0,805	1,0	2,48	14	2,48
		0311	0,785	0,973	2,75	46	5,23
		0306	0,762	0,898	0,93	18	6,16
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		0304	0,731	0,862	0,80	12	8,61
		0301	0,726	0,853	1,59	21	10,20
					Итого по ГПЛ 1.2	123	10,20
					Всего по ПГУ 1	495	27,1

Полученные результаты подлежат уточнению при детальном определении состава и количества станков участка, моделей оборудования, коэффициентов его загрузки и использования.

7.4.3. Расчет количества оборудования и рабочих мест

Расчеты числа станков и рабочих мест сборки базируются на данных о станкоемкости и трудоемкости обработки и сборки с учетом принятого режима работы и соответствующих им фондов времени работы оборудования и рабочих мест.

В зависимости от этапа проектирования, полноты исходной информации и предполагаемых форм организации труда (поточной или непоточной) применяют различные методы расчета.

При технико-экономическом обосновании проектов на предпроектных стадиях с целью определения общего числа станков в цехе и его структуры, т.е. числа участков, применяют *укрупненные методы.*

Так при использовании укрупненных данных о станкоемкости изготовления деталей изделия число основных станков в цехе можно определить по формуле

$$C_п = \frac{T'_{уд} N}{\Phi_о \overline{K}_з}, \quad \text{или} \quad C_п = \frac{T''_{уд} m N}{\Phi_о \overline{K}_з},$$

где $T'_{уд}$, $T''_{уд}$ – станкоемкость изготовления одного изделия и 1 т изделий (1 т деталей изделия) соответственно; N – годовой выпуск изделий; $\Phi_о$ – эффективный годовой фонд времени работы оборудования, ч; $\overline{K}_з$ – средний коэффициент загрузки станков в цехе; m – масса изделия, т.

Коэффициент $\overline{K}_з$ можно принимать равным 0,7 для массового и крупносерийного типов производства, 0,8 для среднесерийного и 0,85 для мелкосерийного и единичного производства. Значения $T'_{уд}$ и $T''_{уд}$ берут по данным производств-аналогов и перспективных технологий.

Для определения состава оборудования полученное общее число станков распределяют по группам и типам в соответствии со структурой оборудования аналогичных цехов. При этом возможна корректировка структуры в зависимости от намеченных в проекте прогрессивных технологических решений.

Помимо основного в состав технологического оборудования входит дополнительное (прессы, установки для удаления заусенцев, контрольные стенды), доля которого составляет от 5 до 30 % от количества технологического оборудования. Таким образом, общее число станков $C=(1,05\ldots1,3)C_{п}$.

При укрупненных расчетах можно использовать так называемый метод условной производительности, сущность которого заключается в сопоставлении условной производительности базового и проектируемого составов оборудования*.

При детальном проектировании, которое выполняют после синтеза структуры цеха и предварительного определения количественного состава оборудования, число станков и рабочих мест рассчитывают в зависимости от типа производства.

Для поточного производства число станков и рабочих мест определяют для каждой технологической операции, для непоточного производства расчеты ведут по каждому типоразмеру оборудования участка.

Число станков в *непрерывно-поточной линии* определяют для каждой операции (в автоматической линии для каждой позиции) обработки. При этом сначала определяют расчетное значение числа станков по формуле

$$C'_{\text{расч}} = t_{\text{ш}}/\tau,$$

где $t_{\text{ш}}$ – штучное время (станкоемкость) выполнения операции; τ – такт выпуска деталей (изделий) с линии, мин.

* Об этом подробнее см. в кн. Андерса А.А., Потапова И.М., Шулешкина А.В. "Проектирование заводов и механосборочных цехов в автотракторной промышленности". М.: Машиностроение, 1982.

Значение $C'_{\text{расч}}$ округляют до ближайшего числа, получая при этом расчетное число станков $C_{\text{расч}}$ для данной операции.

После этого определяют коэффициент загрузки станков на данной операции, который равен отношению фактического времени работы станка к эффективному фонду времени:

$$K_{\text{з}} = \frac{t_{\text{ш}}}{\tau C_{\text{расч}}}, \quad \text{или} \quad K_{\text{з}} = \frac{C'_{\text{расч}}}{C_{\text{расч}}}.$$

Практика работы поточных линий показала, что на производительность линии большое влияние оказывают наложенные потери, вызванные остановкой смежного оборудования, отсутствием заготовок в связи с различного рода перебоями в снабжении и другими причинами. Эти потери становятся наиболее ощутимыми на операциях с высоким коэффициентом загрузки, так как приведенная методика определения числа станков указанные виды потерь не учитывает.

Наложенные потери времени учитывают, вводя коэффициент использования оборудования $K_{\text{и}}$, представляющий собой отношение расчетного числа единиц оборудования, необходимого для обеспечения программы выпуска изделий, к принятому.

Поэтому принятое число станков на данной операции

$$C_{\text{п}} = C_{\text{расч}} \Big/ K_{\text{и}}.$$

В табл. 7.6 даны рекомендуемые значения коэффициентов загрузки и использования для отдельных станков и групп оборудования. При этом следует иметь в виду, что в тех случаях, когда расчетное значение коэффициента загрузки получается меньше рекомендованного, коэффициент использования в расчет не вводят (принимают равным единице).

Таблица 7.6. **Допустимые значения коэффициентов загрузки и использования**

Группа оборудования	$K_з$		$K_и$
	максимальный	средний по группе	
Универсальные станки	0,95-1,0	0,8	0,9
Автоматы и полуавтоматы одношпиндельные	0,95-1,0	0,85	0,85
То же многошпиндельные	0,9	0,9	0,8
Агрегатные станки	0,9	0,9	0,8
Станки с ЧПУ	0,95	0,9	0,85

Надо иметь также в виду, что $K_з$ никогда не может быть больше единицы. В тех случаях, когда значение $C_{расч}$ превышает целое число не более чем на $0,05 \ldots 0,1$, следует пересмотреть содержание данной операции в части изменения режима резания, структуры операции, применяемых инструментальных материалов и оснастки с целью повышения производительности обработки.

Для *переменно-поточных и групповых поточных линий* число станков на каждую операцию рассчитывают по штучно-калькуляционному времени и программе выпуска каждой закрепленной за линией детали:

$$C'_{расч} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{ш-к} N_i}{60 \Phi_o},$$

где $t_{ш-к}$ – штучно-калькуляционное время изготовления i-й детали на данной операции (станке), мин; N_i – годовая программа выпуска i-х деталей; Φ_o – эффективный годовой фонд времени станка, ч; n – число различных деталей, изготовляемых на линии.

При отсутствии данных о подготовительно-заключительных временах расчет числа станков на каждую операцию переменно-поточных линий можно вести по значениям

штучных времен $t_{шi}$:

$$C'_{расч} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{шi} N_i}{60 \Phi_o K_{пн}},$$

где $K_{пн}$ – коэффициент переналадки, принимаемый обычно равным 0,95 (для ГПЛ, не требующих переналадки, $K_{пн} = 1$). Расчетное число станков $C_{расч}$, как и в предыдущих случаях, получают округлением значения $C'_{расч}$ до ближайшего большего целого числа.

Если многопредметная поточная линия работает с разным тактом при обработке каждой детали, то необходимым условием выполнения заданной программы по всей номенклатуре выпускаемых деталей является следующее соотношение:

$$\sum_{i=1}^{n} \tau_i N_i \leq 60 \Phi_o K_{пн},$$

где τ_i – такт выпуска i-й детали, мин. Указанное соотношение получено из условия, что фактическое время работы оборудования не может превышать эффективный фонд времени с учетом потерь на переналадку.

Качество проектирования поточной обработки в значительной степени определяется средним значением коэффициента загрузки и использования станков поточной линии, значение которого должно быть не менее 0,75.

Число рабочих мест для поточной линии сборки при детальном проектировании также определяют для каждой сборочной операции исходя из ее содержания, штучного времени $t_ш$ и такта выпуска τ:

$$M'_{сб} = t_ш / \tau P,$$

где P – число рабочих на данном рабочем месте. Расчетное дробное число рабочих мест сборки $M'_{сб}$ округляют до ближайшего большего целого числа и получают $M_{сб}$.

При выполнении сборки на конвейере необходимо определить скорость и тип конвейера. Расчетная скорость конвейера

$$v_{\text{расч}} = l/\tau,$$

где l – шаг конвейера. Как правило $l = l_1 + l_2$, где l_1 – габаритный размер собираемого изделия в направлении перемещения; l_2 – расстояние между собираемыми изделиями, определяемое удобством выполнения сборочных работ и применяемым сборочным оборудованием, оснасткой и другими факторами.

Скорость непрерывно движущихся конвейеров обычно находится в пределах $0,5 \ldots 5,5$ м/мин для общей сборки крупных изделий (автомобилей, тракторов) и $0,3 \ldots 1,5$ м/мин для сборки узлов средних размеров, аппаратуры и приборов. В тех случаях, когда расчетная скорость оказывается выше указанных значений, необходимо организовать работу на двух и более параллельных конвейерах, увеличив соответственно такт сборки.

Если расчетная скорость оказывается ниже указанных нижних пределов, то сборку целесообразно выполнять на периодически движущемся конвейере.

Основные конструктивные разновидности сборочных конвейеров и рекомендуемые области их применения будут рассмотрены в 7.5.1.

Содержание сборочных операций определяют в соответствии с выбранным тактом сборки, чтобы обеспечить равномерную загрузку рабочих мест (позиций) сборки, определяемую коэффициентом загрузки $K_{\text{з}} = M'_{\text{сб}}/M_{\text{сб}}$.

Число рабочих мест на операции, выполняемой на конвейере с периодическим движением, рассчитывают с учетом дополнительного времени $\tau_{\text{пер}}$ на перемещение собираемых изделий конвейером, так как это перемещение осуществляется после выполнения всех операций на каждом рабочем месте:

$$M'_{\text{сб}} = \frac{t_{\text{ш}}}{(\tau - \tau_{\text{пер}})\text{P}}.$$

Время перемещения изделий зависит от скорости перемещения $v_{пер}$:

$$t_{пер} = v_{пер} l.$$

Скорость перемещения изменяется от 5 м/мин при сборке тяжелых изделий на длинных конвейерах до 15... ...20 м/мин при сборке мелких узлов и изделий.

Общее число рабочих мест сборки на конвейере

$$M_{сб.к} = \sum_{i=1}^{n} M_{сб\,i} + M_{рез},$$

где n – число сборочных операций на конвейере, включая и контрольные операции; $M_{рез}$ – число резервных постов, потребность в которых может возникнуть в процессе модернизации изделия; обычно $M_{рез}$ составляет 5...10 % от $\sum_{i=1}^{n} M_{сб\,i}$.

Для сборки небольших сборочных единиц поточные линии обычно не предусматривают. Необходимое число рабочих мест сборки в этом случае определяют по формуле

$$M'_{сб} = \frac{T_{сб} N}{60 \Phi_{р.м} P},$$

где $T_{сб}$ – трудоемкость сборки изделия, мин; $\Phi_{р.м}$ – эффективный годовой фонд времени рабочего места, ч; P – численность рабочих на одном рабочем месте.

В условиях *непоточного производства* число станков определяют по каждому типоразмеру оборудования для каждого участка на основе данных о станкоемкости деталей, закрепленных для обработки за данным участком. Расчетное значение

$$C'_{расч} = T_{ст\Sigma} / \Phi_{о},$$

где $T_{ст\Sigma}$ – суммарная станкоемкость обработки годового количества деталей, обрабатываемых на участке на станках данного типоразмера, станко-ч.

Суммарная станкоемкость обработки

$$T_{\text{ст}\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} t_{\text{ш-к}\,i,\,j} N_i}{60},$$

где $t_{\text{ш-к}i,\,j}$ – штучно-калькуляционное время выполнения j-й операции обработки i-й детали, станко-мин; n – число разных деталей, обрабатываемых на станках данного типоразмера; m – число операций обработки i-й детали на станках данного типоразмера.

При проектировании по приведенной программе в формулу для определения станкоемкости подставляют значения штучно-калькуляционных времен операций обработки деталей-представителей и их приведенные программы. Полученное значение $C'_{\text{расч}}$ округляют до ближайшего большего целого числа станков $C_{\text{расч}}$ и определяют коэффициент загрузки оборудования

$$K_{\text{з}} = C'_{\text{расч}}/C_{\text{расч}}.$$

Вычисленное значение коэффициента загрузки станков данного типоразмера не должно превышать значения, приведенные в табл. 7.6. В тех случаях, когда значение коэффициента загрузки превышает допустимое, необходимо ввести в расчет коэффициент использования $K_{\text{и}}$, учитывающий возможные наложенные потери времени. Принятое число станков в этом случае будет равно

$$C_{\text{п}} = C_{\text{расч}}/K_{\text{и}}.$$

Надо отметить, что средний коэффициент загрузки станков участка или цеха непоточного производства, как правило, выше, чем на поточных линиях, и составляет $0,75 \ldots 0,85$.

Число рабочих мест (стендов) непоточной сборки при детальном проектировании определяют исходя из трудоемкости сборочных работ, технологических особенностей собираемых на участке сборочных единиц и изделий.

Для этого анализируют содержание ТП сборки, выявляют необходимую сборочную оснастку, механизированный инструмент и оборудование. На основе этого анализа определяют типаж сборочных стендов и дополнительных рабочих мест, оснащенных оборудованием для запрессовки, шлифования с целью пригонки, сверления по месту и т.д.

Число сборочных мест (стендов) каждого типа определяют по годовой трудоемкости $T_{\text{сб}\Sigma}$, выполняемых на этих стендах сборочных работ, фонду времени рабочего места $\Phi_{\text{р.м}}$ и плотности работы П:

$$M'_{\text{сб}} = \frac{T_{\text{сб}\Sigma}}{\Phi_{\text{р.м}}\text{П}}.$$

Под плотностью работы понимают среднее количество рабочих на одном рабочем месте. Величину П определяют в зависимости от габаритных размеров собираемого изделия, характера выполняемых сборочных работ и других условий, определяющих возможность одновременной работы сборщиков с разных сторон изделия. Данные о фондах времени рабочих мест сборки приведены в табл. 7.1.

Годовая трудоемкость сборочных работ, выполняемых на сборочных местах (стендах),

$$T_{\text{сб}\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} T_{\text{сб}\,i} N_i,$$

где $T_{\text{сб}\,i}$ – трудоемкость сборки i-го изделия или сборочной единицы, ч; n – число типов собираемых изделий.

Как и при определении числа станков, расчетное значение $M'_{\text{сб}}$ округляют до ближайшего целого числа, определяя $M_{\text{сб}}$, вычисляют коэффициент загрузки сборочных мест и принятое количество $M_{\text{сб.п}}$.

Подобные расчеты выполняют для всех участков сборочного цеха или отделения – участков слесарной пригонки, узловой и общей сборки. Если в состав сборочного цеха

входит окрасочное отделение, то определяют необходимое число рабочих мест (стендов) для подготовки поверхности изделий под окраску, окраски и сушки изделий.

Потребное количество оборудования (прессов, металлорежущих станков) для выполнения сборочных работ устанавливают исходя из соответствующей годовой трудоемкости (станкоемкости) по методике, применяемой при вычислении количества станков для механического цеха.

По итогам расчета количества оборудования составляют заявочную ведомость в соответствии с формой, установленной эталоном рабочего проекта. В этой ведомости указывают модель, мощность, балансовую стоимость и массу каждого станка. Эти данные далее используют для разработки энергетической, строительной и других частей проекта. На специальные станки, АЛ разрабатывают технические задания для их проектирования и изготовления.

7.4.4. Компоновочные схемы цехов, планировка оборудования и рабочих мест

Проектирование является итерационным процессом, при котором на каждом шаге проектирования ввиду недостатка информации вначале принимают приближенное решение, которое затем по мере детальной проработки уточняют. Так, после синтеза структуры цеха, т.е. после определения состава его участков и числа станков, принимают решение о взаимном размещении этих участков. Выбор варианта размещения участков определяет компоновочную схему цеха.

Размещение участков внутри цеха обуславливается взаимным размещением механических и сборочных цехов, что, в свою очередь, определяется принятой организационной формой механосборочного производства. Возможные компоновочные схемы механических и сборочных цехов показаны на рис. 7.4.

В поточно-массовом производстве рабочие места узловой сборки предметно-специализированных цехов раз-



Рис.7.4. Компоновочные схемы механосборочного производства

мещают в конце линии механической обработки. Механосборочный цех при этом состоит из ряда параллельно расположенных участков механической обработки (см. рис. 7.4, *а, б*), состоящих из непрерывно- или переменно-поточных линий, а также линий или участков узловой сборки. Перпендикулярно размещают отделение общей сборки, а при использовании сборочного конвейера участки механосборочного производства располагают в соответствии с последовательностью установки сборочных единиц и деталей в изделие на сборочном конвейере. При этом обеспечиваются наиболее благоприятные условия передачи изготовленных деталей и сборочных единиц на конвейер общей сборки в процессе прямоточной межоперационной передачи. Вариант размещения общей сборки в середине цеха используют при производстве изделий с большим числом коротких линий механической обработки и относительно небольшой трудоемкости общей сборки.

В серийном и единичном производствах применяют компоновочные схемы размещения цеха (отделения) общей сборки в отдельном пролете, перпендикулярно или параллельно пролетам или участкам механических цехов(рис. 7.4, *в, г*).

При этом сборка, как правило, – стационарная, непоточная, поэтому взаимное размещение участков определяет в большей степени технологическая однородность обрабатываемых деталей и применяемых видов транспорта. По этой причине, например, в одном пролете, оборудованном мостовым краном, сосредоточивают обработку наиболее крупных базовых деталей. При параллельном расположении пролетов участок базовых деталей целесообразно располагать рядом с пролетом сборочного цеха с тем, чтобы минимизировать грузопоток и облегчить передачу наиболее тяжелых деталей на сборку.

На выбор варианта расположения участков также оказывают влияние условия работы и технологические особенности используемого оборудования. Поэтому нецелесообразно размещать рядом участки и линии изготовления высокоточных и относительно грубых деталей ввиду неизбежного влияния вибрации оборудования для черновой обработки на точность обработки ответственных деталей. В обоснованных случаях для финишных операций изготовления деталей и сборки прецизионных изделий предусматривают термоконстантные помещения. Недопустимо смежное размещение участков абразивной обработки и сборки. В каждом конкретном случае необходимо учитывать совместимость ТП смежных участков и цехов, степень пожарной опасности оборудования и процесса, а также концентрацию вредных для здоровья окружающих аэрозолей, выделяемых при работе оборудования. Пожароопасные или опасные для здоровья окружающих участки или производства должны быть изолированы от других помещений соответствующими перегородками и оборудованы системами очистки воздуха. Это в первую очередь касается окрасочных участков и цехов.

При предварительной проработке компоновочной схемы общую площадь $S_{об}$ участка и цеха определяют по показателю удельной общей площади $S_{уд.об}$ на один станок или одно рабочее место:

$$S_{об} = S_{уд.об} C_{п},$$

где $C_п$ – принятое число станков, а в случае сборки – рабочих мест цеха (участка). Значение показателя $S_{уд.об}$ зависит от габаритных размеров применяемого оборудования и транспортных средств. Последние определяют ширину проездов между рядами станков. Так, для средних станков $S_{уд.об} = 18 \ldots 22$ м^2, а для мелких $14 \ldots 18$ м^2. Поскольку в составе участка (цеха) имеется оборудование разных габаритных размеров, то для предварительной оценки требуемой площади удобнее пользоваться удельными показателями для аналогичных цехов, обобщенных по ряду действующих заводов или ранее выполненных проектов. Такие показатели для механических и сборочных цехов приведены в справочной литературе.

Важным при проектировании является выбор строительных параметров здания – сетки колонн и высоты пролета. Схема поперечного разреза пролета и его план показаны на рис. 7.5. Сетку колонн (ширину пролета L и шаг колонн t в метрах) и высоту пролета H (расстояние от пола до нижней части несущей конструкции здания) выбирают из унифицированного ряда указанных величин.

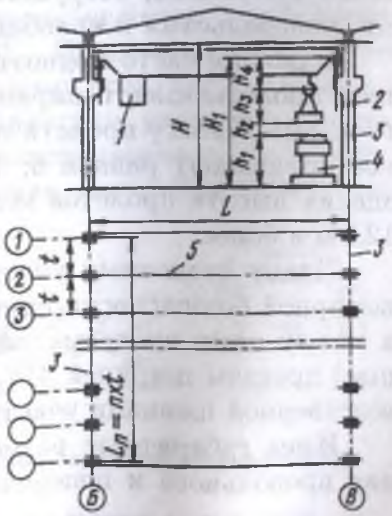


Рис. 7.5. Схема поперечного разреза и план пролета:
1 – кабина крана; 2 – ось подкрановых путей; 3 – продольная разбивочная ось; 4 – станок; 5 – поперечная разбивочная ось; ①, ②, ... – поперечные разбивочные оси; Ⓑ, Ⓑ, ... – продольные разбивочные оси

Ширину пролета выбирают такой, чтобы можно было рационально разместить кратное число рядов оборудования – обычно от двух до четырех рядов станка в зависимости от габаритных размеров и варианта размещения. Высоту пролета определяют из схемы, приведенной на рис. 7.5. Исходя из максимального габаритного размера оборудования по высоте h_1, минимального расстояния h_2 между оборудованием и перемещаемым грузом, а также размеров по высоте транспортируемых грузов h_3 и подъемно-транспортного средства (крана) h_4 определяют высоту H_1 до головки подкранового рельса: $H_1 = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$. Высоту h_1 устанавливают с учетом крайних положений подвижных частей станка, причем значение ее должно быть не менее 2,3 м. Расстояния h_2 принимают не менее 400 мм. По высоте H_1 определяют минимальную высоту пролета H. При проектировании участков и цехов ГАП целесообразно использовать пролеты с мостовыми кранами, причем одна из причин применения мостовых кранов состоит в обеспечении высокой мобильности при перестановке и замене оборудования. В цехах автотракторной промышленности в основном используют здания, оборудованные подвесными конвейерами, монорельсами и кранбалками.

Наиболее часто в одноэтажных производственных зданиях пролеты имеют ширину 18 или 24 м при шаге колонн $t = 12$ м. Высоту пролета при отсутствии мостовых кранов принимают равной 6; 7,2 или 8,4 м. Для крановых зданий высота пролетов несколько больше: 8,4; 9,6; 10,8; 12,6 м и более.

Длину станочных участков и линий из соображений пожарной безопасности принимают в пределах 35 ... 50 м, а между ними предусматривают магистральные (пожарные) проезды шириной 4,5 ... 5,5 м. По известной производственной площади участков определяют их ширину.

Имея габаритные размеры участков с учетом наличия продольного и поперечных магистральных проездов

определяют габаритные размеры и ориентировочную площадь цеха.

Для многоэтажных производственных зданий принята сетка колонн 9 × 6 м при допускаемой нагрузке на перекрытия до 15 кПа и 6 × 6 м при допускаемой нагрузке до 25 кПа. Высота этажей составляет 3,6; 4,8 или 6 м, причем последний этаж может быть с большей шириной пролета.

Планировка оборудования на участках и линиях механической обработки определяется организационной формой производственного процесса, длиной станочных участков, количеством станков, видом межоперационного транспорта, способом удаления стружки и другими факторами. При оформлении планировок используют обозначения, приведенные в табл. 7.7.

Последовательность размещения станков непрерывно- и переменно-поточных линий практически однозначно определяется последовательностью выполнения операций ТП. Задача рационального размещения оборудования сводится к выбору варианта размещения станков относительно транспортного средства, числа рядов станков и общей конфигурации поточной (автоматической) линии.

Относительно транспортного средства возможны варианты продольного, поперечного, углового и кольцевого размещения станков (рис. 7.6). Продольное размещение станков фронтом к транспортному средству или проезду обеспечивает наиболее благоприятные условия для механизации и автоматизации межоперационного транспортирования и обслуживания рабочих мест. При поперечном

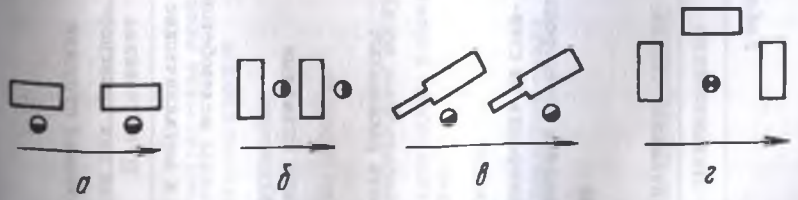
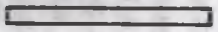
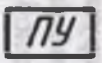
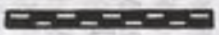
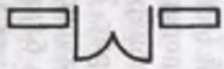
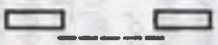
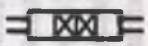
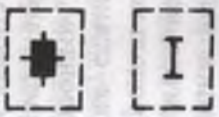
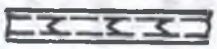


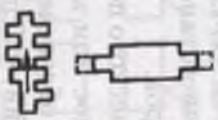
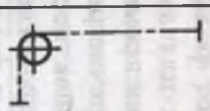
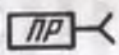
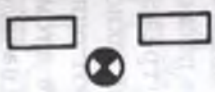
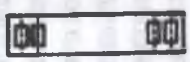
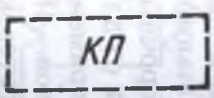
Рис. 7.6. Варианты размещения станков относительно транспортного средства:

а – продольное; *б* – поперечное; *в* – угловое; *г* – кольцевое

Таблица 7.7. **Условные обозначения, применяемые на планировках**

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Капитальная стенка		Пульт управления	
Окно		Кран мостовой	
Сплошная перегородка			
Перегородка из стеклоблоков		Стеллаж многоярусный однорядный	
Барьер		Кран-штабелер автоматизированный	
Ворота распашные		Кран консольный поворотный с электроталью	
Ворота откатные		Каретка-оператор с автоматическим адресованием грузов	
Колонны железобетонные и металлические		Тележка рельсовая	
Канал для транспортирования стружки			

Окончание табл. 7.7

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Автоматическая линия и технологическое оборудование		Конвейер подвесной цепной	
Место рабочего		Промышленный робот	
Многостаночное обслуживания одним рабочим		Конвейер роликовый (рольганг)	
Контрольный пункт		Подвод сжатого воздуха (цифра указывает давление в сети)	
Место складирования заготовок и изделий		Точка подвода электрокабеля к оборудованию	

расположении условия обслуживания станка оператором ухудшаются в связи с его удалением от рольганга или конвейера. Однако при использовании для автоматической загрузки станков манипуляторов или промышленных роботов портального типа это противоречие решается, и при этом варианте обеспечивается компактность планировки, т.е. лучшее использование производственной площади. Расположение станков под углом к проезду применяют для расточных, продольно-фрезерных станков, прутковых автоматов, револьверных и других станков, длина которых значительно превышает их ширину. Прутковые автоматы при этом размещают обычно загрузочным устройством к проезду для облегчения установки прутков. Кольцевое размещение станков создает благоприятные условия для многостаночного обслуживания, но при этом возникают трудности для использования межоперационного транспорта и инженерных коммуникаций.

Выбор того или иного варианта определяется также способом удаления от станков стружки. При использовании автоматизированных систем уборки стружки необходимо учитывать взаимное расположение станочных и цеховых стружкоуборочных транспортеров.

В зависимости от длин технологического потока и станочного участка применяют однорядное или многорядное размещение станков. При этом для обеспечения прямоточности зону заготовок (начало линий) располагают со стороны проезда, а конец линий с противоположной стороны в направлении дальнейшего перемещения деталей на сборку. Основные варианты размещения оборудования в непрерывно- и переменно-поточных линиях показаны на рис. 7.7.

Для линии, оборудование которой размещено в пределах длины участка, применяют однорядный вариант размещения (см. рис. 7.7, *а*). В приведенном примере на второй операции предусмотрены два станка, поскольку штучное время на этой операции превышает такт выпуска. Короткие линии обработки располагают последовательно,

как это показано на рис. 7.7, *б*. Поточные линии с большим числом станков размещают в два или несколько рядов (см. рис. 7.7, *в* и *г*), но с обязательным условием, чтобы начало линии располагалось со стороны проезда и зоны заготовки, а конец линии – с противоположной стороны.

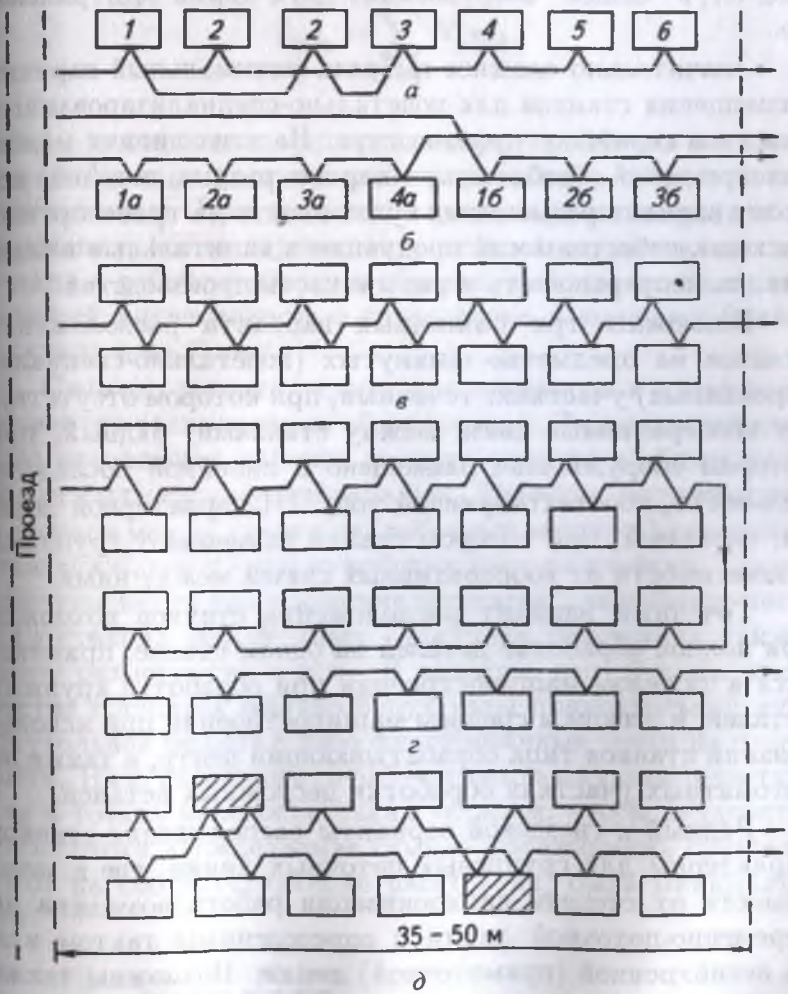


Рис. 7.7. Варианты размещения оборудования в поточных линиях

Для обеспечения лучшего использования отдельных станков возможно параллельное размещение линий с использованием "общего" оборудования (см. рис. 7.7, *д*), однако в этом случае перед "общим" оборудованием необходимо предусматривать необходимые заделы для компенсации определенной несинхронности работы двух линий. На рис. 7.7, *д* "общее" оборудование двух линий заштриховано.

Значительно сложнее выбрать оптимальный вариант размещения станков для подетально-специализированных участков серийного производства. На этих линиях можно одновременно обрабатывать партии разных деталей, поэтому вариант размещения будет влиять на транспортные расходы, себестоимость продукции и капитальные вложения, на непрерывность и ритмичность производства.

Возможны три различных варианта расположения станков на предметно-замкнутых (подетально-специализированных) участках: точечный, при котором отсутствуют кооперативные связи между станками; рядный, при котором оборудование размещено в линейной последовательности, соответствующей ходу ТП характерной детали; гнездовой, при котором станки размещают группами в зависимости от кооперативных связей между ними.

Точечный вариант расположения станков возможен при полной обработке деталей на одном станке, применяется в тяжелом машиностроении при обработке крупных деталей, в легком и среднем машиностроении при использовании станков типа обрабатывающий центр, а также на автоматных участках обработки несложных деталей.

Рядный и гнездовой варианты расположения станков характерны для групповых поточных линий, где в зависимости от степени синхронизации работа возможна на переменно-поточной линии с определенным тактом или на несинхронной (прямоточной) линии. Возможны также комбинации указанных вариантов расположения станков внутри одного участка.

При выборе того или иного варианта в качестве основного параметра, влияющего в наибольшей степени на эффективность работы участка и линии, обычно используют грузооборот участка, характеризуемый грузопотоком $I_{i_1 i_2}$ между рабочими местами i_1 и i_2:

$$I_{i_1 i_2} = \sum_{k=1}^{p} N_k m_k,$$

где p – число деталей-маршрутов между рабочими местами i_1 и i_2; N_k, m_k – программа выпуска и масса k-й детали соответственно. При гибком варианте расположения оборудования, когда перемещение деталей осуществляют со склада к рабочему месту и обратно, рабочие места с наибольшей интенсивностью грузопотока размещают ближе к складу и наоборот.

Сложнее решить задачу для линейного и гнездового вариантов расположения оборудования. Задача оптимального размещения рабочих мест на участке в общем виде может быть сформулирована так. Известна матрица грузопотоков между станками (рабочими местами) размерностью $n \times n$, где n - число рабочих мест на участке. Также известны места расположения площадок для рабочих мест и расстояния между ними. Матрица расстояния также имеет размерность $n \times n$. В качестве допустимого множества площадок обычно берут узлы прямоугольной или треугольной решетки либо фиксированные точки на плоскости. Надо расположить рабочие места по узлам решетки или в точках плоскости таким образом, чтобы мощность грузопотока, определяемая суммой произведений грузопотоков на соответствующие расстояния, была минимальной:

$$\Theta = \sum_{i_1}^{n} \sum_{i_2}^{n} \sum_{j_1}^{n} \sum_{j_2}^{n} x_{i_1 j_1} x_{i_2 j_2} I_{i_1 i_2} S_{j_1 j_2} \to \min$$

при условии

$$\sum_{i_1}^{n} x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \ldots, n);$$

$$\sum_{j_1}^{n} x_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \ldots, n);$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \ldots, n),$$

где $x_{i_1 j_1}$ – булева переменная, показывающая размещено ли i_1-е рабочее место на j_1-й площадке; $x_{i_2 j_2}$ – булева переменная, показывающая размещено ли i_2-е рабочее место на j_2-й площадке; $l_{i_1 j_2}$ – грузопоток с i_1-го рабочего места на i_2-е; $S_{j_1 j_2}$ – расстояние между j_1-й и j_2-й площадками.

Сформулированная задача в математической постановке сводится к "задаче о назначениях" и может быть решена с помощью точного алгоритма. На практике такой метод решения возможен при небольшом числе рабочих мест (обычно не более 7), так как резко возрастает размерность матриц, что затрудняет расчеты даже с использованием современных ЭВМ.

В большинстве существующих ГПС используется линейный принцип размещения модулей. При небольшом числе станков их располагают в один ряд, при числе станков более четырех – в два ряда. Компоновка ГПС также может быть замкнутой или П-образной.

Во многом размещение станочных модулей в ГПС определяется типом автоматизированной транспортно-складской системы, с помощью которой регулируют материальные потоки заготовок, инструментов, приспособлений, тары и деталей. В зависимости от вида применяемой транспортно-складской системы могут быть три различные схемы компоновок ГПС.

1. Компоновка с централизованным складом (рис. 7.8, *а*). Заготовки в таре или на палетах доставляются со склада к станочным модулям транспортной системой.

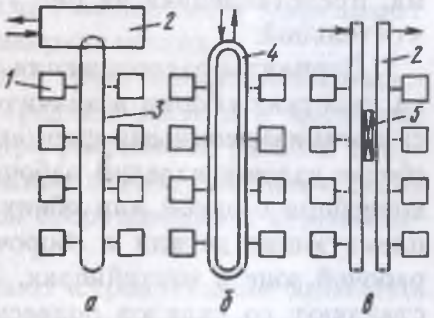


Рис. 7.8. Компоновочные схемы ГПС с централизованным складом (*а*), накопителем в составе транспортной системы (*б*) и транспортным устройством в составе склада (*в*): *1* – станочный модуль; *2* – склад; *3* – транспортная система; *4* – транспортер-накопитель; *5* – робот-штабелер

Заготовки, обработанные на одном станке, передаются на следующий или возвращаются на склад, где они хранятся, пока не освободится занятый станок. Транспортная система может быть линейной или замкнутой. Данная схема очень универсальна, обеспечивает возможность ее наращивания в определенных пределах.

2. Компоновка со складом-накопителем в составе транспортной системы (рис. 7.8, *б*). Здесь роль склада выполняет транспортная система (роликовый транспортер или конвейер замкнутого типа). Загрузка и выгрузка транспортной системы обычно производится в одном месте. Подобная планировка характерна для ГПС средне- и крупносерийного типов производства с четко выраженной последовательностью и определенной синхронизацией по времени выполняемых операций. Как реализацию этого принципа можно рассматривать станочные модули типа обрабатывающий центр для изготовления корпусных деталей с многопозиционными накопителями.

3. Компоновка с перемещением деталей транспортным средством в составе склада (рис. 7.8, *в*). В этом случае станочные модули непосредственно примыкают к складу, что значительно упрощает доставку заготовок и их автоматическую загрузку. Этот вариант привлекает своей простотой загрузки, перемещения и хранения заготовок, но возможности его расширения и изменения оборудования при модернизации ограничены. В этом отношении первая схе-

при условии

$$\sum_{i_1}^{n} x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \ldots, n);$$

$$\sum_{j_1}^{n} x_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \ldots, n);$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \ldots, n),$$

где $x_{i_1 j_1}$ – булева переменная, показывающая размещено ли i_1-е рабочее место на j_1-й площадке; $x_{i_2 j_2}$ – булева переменная, показывающая размещено ли i_2-е рабочее место на j_2-й площадке; $I_{i_1 j_2}$ – грузопоток с i_1-го рабочего места на i_2-е; $S_{j_1 j_2}$ – расстояние между j_1-й и j_2-й площадками.

Сформулированная задача в математической постановке сводится к "задаче о назначениях" и может быть решена с помощью точного алгоритма. На практике такой метод решения возможен при небольшом числе рабочих мест (обычно не более 7), так как резко возрастает размерность матриц, что затрудняет расчеты даже с использованием современных ЭВМ.

В большинстве существующих ГПС используется линейный принцип размещения модулей. При небольшом числе станков их располагают в один ряд, при числе станков более четырех – в два ряда. Компоновка ГПС также может быть замкнутой или П-образной.

Во многом размещение станочных модулей в ГПС определяется типом автоматизированной транспортно-складской системы, с помощью которой регулируют материальные потоки заготовок, инструментов, приспособлений, тары и деталей. В зависимости от вида применяемой транспортно-складской системы могут быть три различные схемы компоновок ГПС.

1. Компоновка с централизованным складом (рис. 7.8, *а*). Заготовки в таре или на палетах доставляются со склада к станочным модулям транспортной системой.

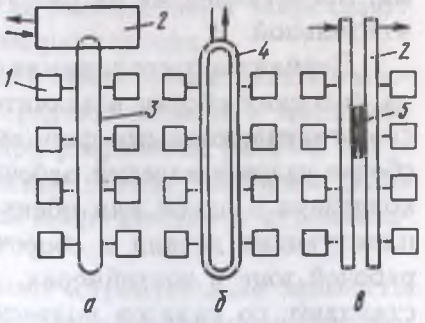


Рис. 7.8. Компоновочные схемы ГПС с централизованным складом (*а*), накопителем в составе транспортной системы (*б*) и транспортным устройством в составе склада (*в*):
1 – станочный модуль; *2* – склад; *3* – транспортная система; *4* – транспортер-накопитель; *5* – робот-штабелер

Заготовки, обработанные на одном станке, передаются на следующий или возвращаются на склад, где они хранятся, пока не освободится занятый станок. Транспортная система может быть линейной или замкнутой. Данная схема очень универсальна, обеспечивает возможность ее наращивания в определенных пределах.

2. Компоновка со складом-накопителем в составе транспортной системы (рис. 7.8, *б*). Здесь роль склада выполняет транспортная система (роликовый транспортер или конвейер замкнутого типа). Загрузка и выгрузка транспортной системы обычно производится в одном месте. Подобная планировка характерна для ГПС средне- и крупносерийного типов производства с четко выраженной последовательностью и определенной синхронизацией по времени выполняемых операций. Как реализацию этого принципа можно рассматривать станочные модули типа обрабатывающий центр для изготовления корпусных деталей с многопозиционными накопителями.

3. Компоновка с перемещением деталей транспортным средством в составе склада (рис. 7.8, *в*). В этом случае станочные модули непосредственно примыкают к складу, что значительно упрощает доставку заготовок и их автоматическую загрузку. Этот вариант привлекает своей простотой загрузки, перемещения и хранения заготовок, но возможности его расширения и изменения оборудования при модернизации ограничены. В этом отношении первая схе-

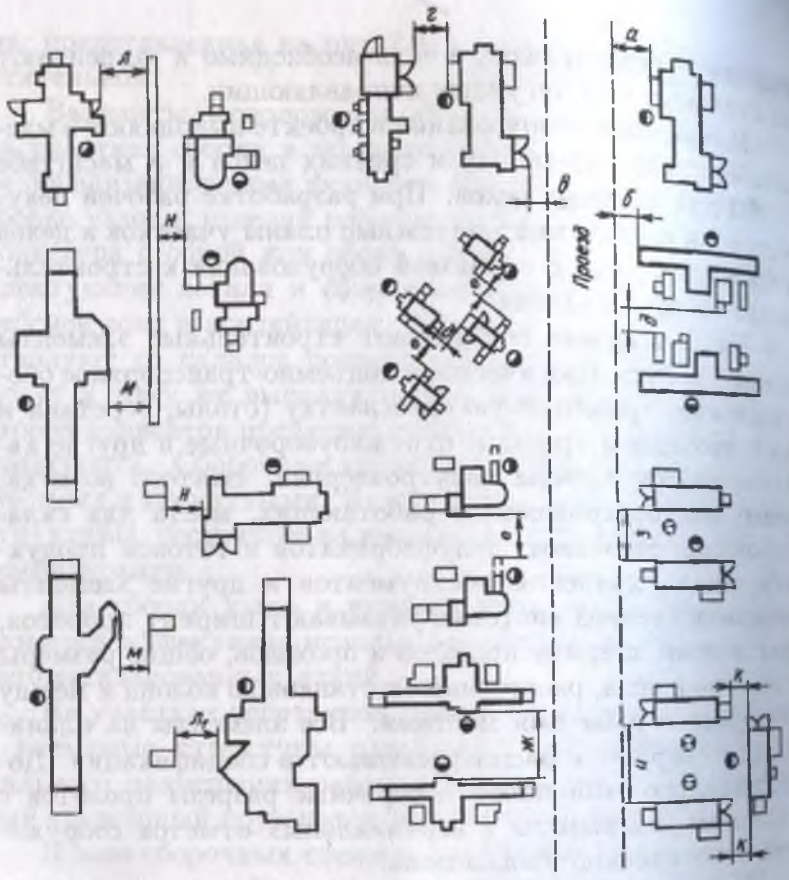


Рис. 7.9. Схемы расстановки станков

гаемые вдоль проезда, должны находиться за его пределами. Ширину магистральных проездов, по которым осуществляют межцеховые перевозки, принимают равной 4500 ... 5500 мм. Ширина цеховых проездов зависит от вида напольного транспорта и габаритных размеров перемещаемых грузов. Для всех видов напольного электротранспорта ширина проезда A составляет, мм: $A = Б + 1400$ при одностороннем движении, $A = 2Б + 1600$ при двухстороннем движении и $A = Б + 1400$ для робокар при одностороннем движении, где $Б$ – ширина груза, мм. Ширину пешеходных проходов принимают равной 1400 мм.

Таблица 7.8. **Нормы расстояний станков от проезда, между станками, а также от станков до стен и колонн здания, мм**

Расстояние (см. рис. 7.9)	Наибольший габаритный размер станка в плане, мм		
	до 1800	до 4000	до 8000
От проезда до:			
фронтальной стороны станка *а*	1600/1000	1600/1000	2000/1000
боковой стороны станка *б*	500	500	700/500
тыльной стороны станка *в*	500	500	500
Между станками при расположении их:			
в "затылок" *г*	1700/1400	2600/1600	2600/1800
тыльными сторонами *д*	700	800	1000
боковыми сторонами *е*	900	900	1300/1200
фронтальными сторонами один к другому при обслуживании одним рабочим одного станка *ж*	2100/1900	2500/2300	2600
то же двух станков *з*	1700/1400	1700/1600	–
по кольцевой схеме *и*	2500/1400	2500/1600	–
то же *к*	700	700	–
От стен, колонн до:			
фронтальной стороны станка *л*	1600/1300	1600/1500	1600/1500
то же $л_1$	1300	1300/1500	1500
тыльной стороны станка *м*	700	800	900
боковой стороны станка *н*	1200/900	1200/900	1200/900

Примечание. В знаменателе приведены нормы расстояний для цехов крупносерийного и массового типов производства, когда они отличаются от соответствующих норм для условий единичного, мелкосерийного и среднесерийного типов производства.

Примеры планировочных решений станочных линий с различными способами межоперационной передачи заготовок приведены на рис. 7.10. Во всех этих схемах ширина пешеходных проходов $A_2 = 1400$ мм, ширина передаточных столов и стеллажного оборудования $B = 670$ мм, расстояние между ними $Г = 900$ мм. Расстояние меж-

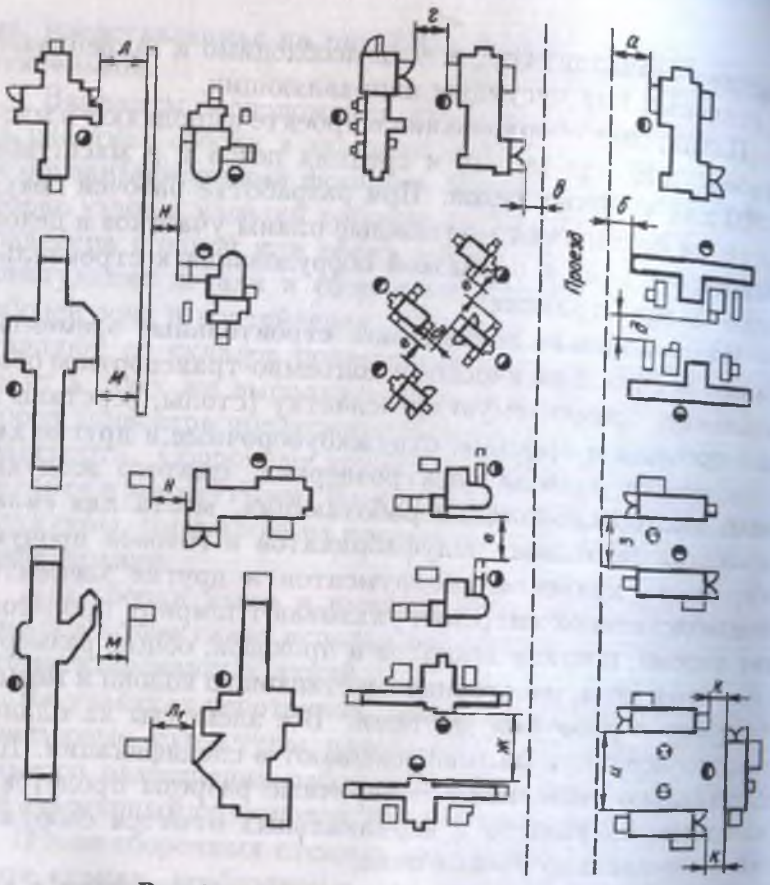


Рис. 7.9. Схемы расстановки станков

гаемые вдоль проезда, должны находиться за его пределами. Ширину магистральных проездов, по которым осуществляют межцеховые перевозки, принимают равной 4500 ... 5500 мм. Ширина цеховых проездов зависит от вида напольного транспорта и габаритных размеров перемещаемых грузов. Для всех видов напольного электротранспорта ширина проезда A составляет, мм: $A = Б + 1400$ при одностороннем движении, $A = 2Б + 1600$ при двухстороннем движении и $A = Б + 1400$ для робокар при одностороннем движении, где $Б$ – ширина груза, мм. Ширину пешеходных проходов принимают равной 1400 мм.

Таблица 7.8. **Нормы расстояний станков от проезда, между станками, а также от станков до стен и колонн здания, мм**

Расстояние (см. рис. 7.9)	Наибольший габаритный размер станка в плане, мм		
	до 1800	до 4000	до 8000
От проезда до:			
фронтальной стороны станка *а*	1600/1000	1600/1000	2000/1000
боковой стороны станка *б*	500	500	700/500
тыльной стороны станка *в*	500	500	500
Между станками при расположении их:			
в "затылок" *г*	1700/1400	2600/1600	2600/1800
тыльными сторонами *д*	700	800	1000
боковыми сторонами *е*	900	900	1300/1200
фронтальными сторонами один к другому при обслуживании одним рабочим одного станка *ж*	2100/1900	2500/2300	2600
то же двух станков *з*	1700/1400	1700/1600	–
по кольцевой схеме *и*	2500/1400	2500/1600	–
то же *к*	700	700	–
От стен, колонн до:			
фронтальной стороны станка *л*	1600/1300	1600/1500	1600/1500
то же $л_1$	1300	1300/1500	1500
тыльной стороны станка *м*	700	800	900
боковой стороны станка *н*	1200/900	1200/900	1200/900

Примечание. В знаменателе приведены нормы расстояний для цехов крупносерийного и массового типов производства, когда они отличаются от соответствующих норм для условий единичного, мелкосерийного и среднесерийного типов производства.

Примеры планировочных решений станочных линий с различными способами межоперационной передачи заготовок приведены на рис. 7.10. Во всех этих схемах ширина пешеходных проходов $A_2 = 1400$ мм, ширина передаточных столов и стеллажного оборудования $B = 670$ мм, расстояние между ними $Г = 900$ мм. Расстояние меж-

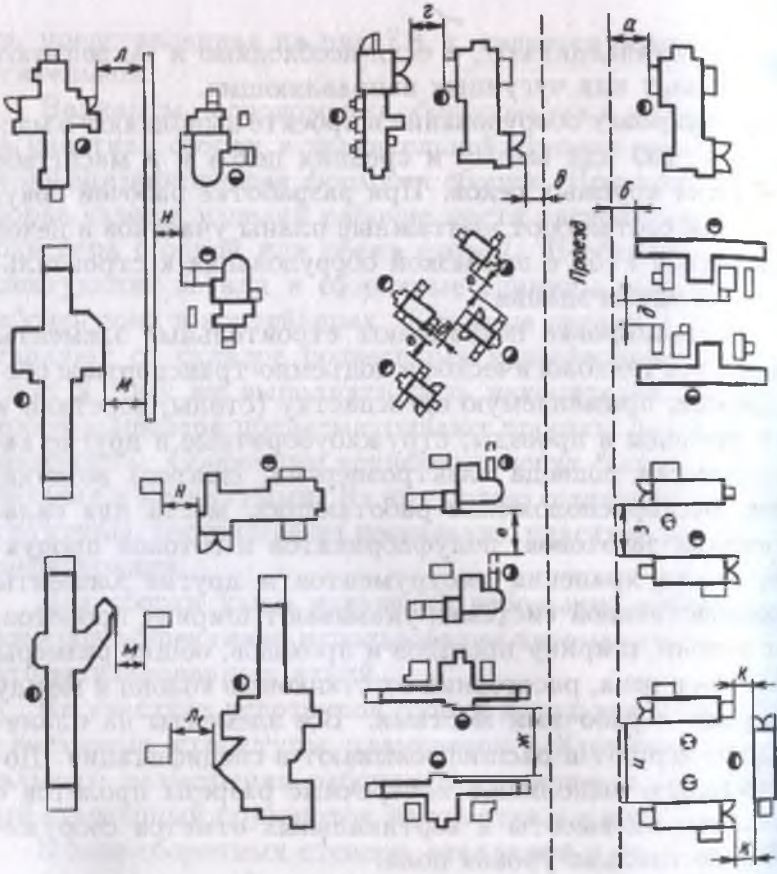


Рис. 7.9. Схемы расстановки станков

гаемые вдоль проезда, должны находиться за его пределами. Ширину магистральных проездов, по которым осуществляют межцеховые перевозки, принимают равной 4500 . . . 5500 мм. Ширина цеховых проездов зависит от вида напольного транспорта и габаритных размеров перемещаемых грузов. Для всех видов напольного электротранспорта ширина проезда A составляет, мм: $A = Б + 1400$ при одностороннем движении, $A = 2Б + 1600$ при двухстороннем движении и $A = Б + 1400$ для робокар при одностороннем движении, где $Б$ – ширина груза, мм. Ширину пешеходных проходов принимают равной 1400 мм.

Таблица 7.8. **Нормы расстояний станков от проезда, между станками, а также от станков до стен и колонн здания, мм**

Расстояние (см. рис. 7.9)	Наибольший габаритный размер станка в плане, мм		
	до 1800	до 4000	до 8000
От проезда до:			
фронтальной стороны станка *а*	1600/1000	1600/1000	2000/1000
боковой стороны станка *б*	500	500	700/500
тыльной стороны станка *в*	500	500	500
Между станками при расположении их:			
в "затылок" *г*	1700/1400	2600/1600	2600/1800
тыльными сторонами *д*	700	800	1000
боковыми сторонами *е*	900	900	1300/1200
фронтальными сторонами один к другому при обслуживании одним рабочим одного станка *ж*	2100/1900	2500/2300	2600
то же двух станков *з*	1700/1400	1700/1600	–
по кольцевой схеме *и*	2500/1400	2500/1600	–
то же *к*	700	700	–
От стен, колонн до:			
фронтальной стороны станка *л*	1600/1300	1600/1500	1600/1500
то же $л_1$	1300	1300/1500	1500
тыльной стороны станка *м*	700	800	900
боковой стороны станка *н*	1200/900	1200/900	1200/900

Примечание. В знаменателе приведены нормы расстояний для цехов крупносерийного и массового типов производства, когда они отличаются от соответствующих норм для условий единичного, мелкосерийного и среднесерийного типов производства.

Примеры планировочных решений станочных линий с различными способами межоперационной передачи заготовок приведены на рис. 7.10. Во всех этих схемах ширина пешеходных проходов $A_2 = 1400$ мм, ширина передаточных столов и стеллажного оборудования $B = 670$ мм, расстояние между ними $Г = 900$ мм. Расстояние меж-

ду станком и консольной секцией приемно-передаточного стола $Д = 400$ мм, а ширина рабочей зоны между станком и столами $Е = 1070$ мм. Ширину механизированных межоперационных транспортных средств $К$ и расстояние между ними $Ж$ принимают в соответствии с размерами изготавливаемых деталей.



Рис. 7.10. Примеры планировочных решений станочных линий с использованием различных видов межоперационного транспорта:

а – с автоматизированной транспортно-складской системой для тары 400×600 мм; *б* – с напольной кареткой-оператором и приемно-передаточными столами; *в* – с роликовым или пластинчатым конвейером; *г*, *д* – с подвесным конвейером или электроталью на монорельсе

Возможные варианты размещения стационарных рабочих мест сборки для условий единичного, мелкосерийного и среднесерийного типов производства показаны на рис. 7.11, а в табл. 7.9 приведены нормы на их размещение

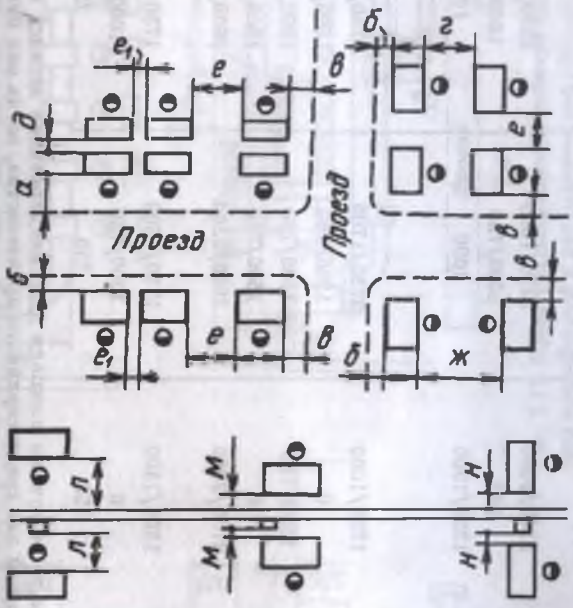


Рис. 7.11. Схема размещения рабочих мест сборки

Для условий крупносерийного и массового типов производства характерными являются варианты конвейерной сборки. Планировки рабочих мест при использовании сборочных конвейеров и АЛ, а также нормы на их размещение даны на рис. 7.12.

В практике проектирования в основном используют темплетный метод выполнения планировок. Темплеты представляют собой планы рабочих мест и оборудования, выполненные на прозрачной пленке или бумаге в определенном масштабе. Кроме габаритных размеров оборудования, сборочного стола или верстака на темплете указывают место рабочего, расположение инструментальных

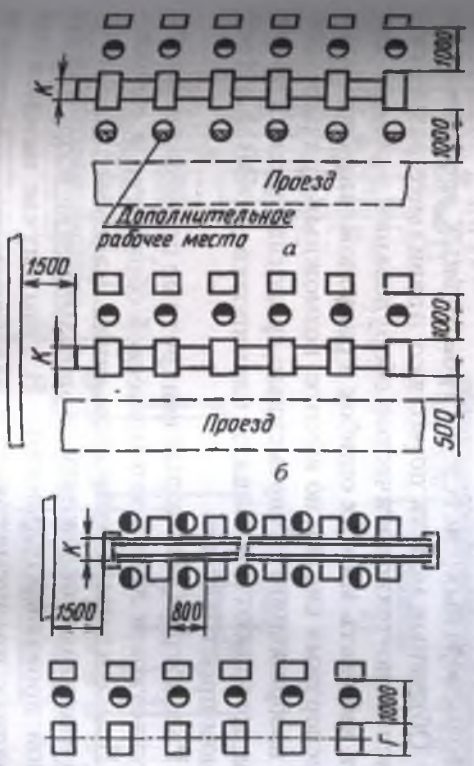
Таблица 7.9. **Нормы для размещения сборочных мест (единичное, мелкосерийное, среднесерийное производство), мм**

Расстояние (см. рис. 7.11)	Габаритные размеры собираемого изделия, мм		
	до 1250 × 750*	до 1250 × 750**	до 2500 × 1000**
От проезда до:			
фронтальной стороны *а*	1500/1000	2250/1000	2250/1500
тыльной стороны *б*	500	1000/750	1000/900
боковых сторон *в*	1250/1000	1000	1000
Между сборочными местами при взаимном расположении:			
в "затылок" *г*	1750/1000	2750/1700	2750/1700
тыльными сторонами *д*	0	1500/100	1500/1000
боковыми сторонами *е*	1500/750	1500/750	1500/1200
то же e_1	0	1500/750	1500/1200
Фронтальными сторонами *ж*	2750/2000	3500/2500	3500/2500
От стен и колонн до:			
фронтальной стороны стола *л*	1500/1300	1750/1500	1750/1500
тыльной стороны стола *м*	0	1000/750	1000/900
боковой стороны стола *н*	750	750	750

Примечание. 1. В нормы не включены площади для складирования деталей и собранных узлов. 2. В знаменателе приведены нормы для среднесерийного производства, когда они отличаются от аналогичных норм для единичного и мелкосерийного типов производства.

* Рабочая зона с одной стороны объекта.

** Рабочая зона вокруг объекта.



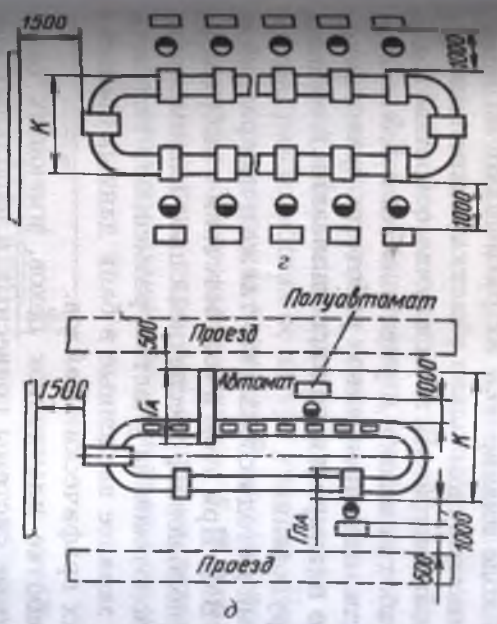


Рис. 7.12. Примеры размещения рабочих мест при конвейерной и автоматической сборках, а также нормы на их размещение при использовании шагового (*а*), вертикально-замкнутого (*б*), подвесного (*в*), горизонтально-замкнутого (*г*) конвейеров и АЛ (*д*)

тумбочек, плит и другой организационной оснастки, а также места подводов энергоносителей и технологических жидкостей. В ходе планировки их размещают на подготовленном компоновочном плане участка, закрепляя прозрачной клейкой лентой. В этом случае сокращается до минимума доработка планов и уменьшается в 1,5...2 раза трудоемкость планировочных работ по сравнению с трудоемкостью планировки при использовании шаблонов-габаритов оборудования.

Темплетный метод используют также и при разработке планов на ЭВМ. При этом в соответствии с выбранным вариантом расположения, обеспечивающим минимальные мощности грузопотоков на участке, размещают темплеты рабочих мест, заранее введенные в банк данных машин в виде отдельных графических файлов.

При разработке планировок цехов, имеющих сложные транспортные системы подвесных и напольных конвейеров, монорельсов и автоматизированных складов, эффективно использовать метод объемного макетирования, при котором применяют (выполненные в определенном масштабе) объемные модели станков, рабочих мест сборки, транспортных систем и строительных элементов зданий. Объемные модели позволяют правильнее разместить транспортно-технологическое оборудование в объеме здания и избежать многих ошибок в расположении отдельных транспортных систем по высоте, возможных при плоскостном изображении. Современные средства машинной графики позволяют выполнять планировки на ЭВМ в трехмерном пространстве.

Рассмотрим некоторые конкретные примеры планировок участков и линий механической обработки и сборки.

При создании поточных линий массового производства возникают осложнения при размещении оборудования разной производительности. В этом случае на смежных операциях предусматривают различное число станков и распределение потока заготовок. Пример планировки поточной линии с использованием подвесных конвейеров в

качестве межоперационного транспорта дан на рис. 7.13. В начале линии предусмотрена зона *6* шириной 2...3 м для размещения тары с заготовками. Далее размещены два ряда станков по обе стороны двух подвесных конвейеров. Конвейеры оснащают многополочными подвесками или подвесками со штырями, ячейками и другими элементами, что позволяет их использовать также в качестве накопителей. На линии предусмотрены три подвесных конвейера, разбивающих ее на три участка. На первом участке имеется резервная площадь *2*, а в конце линии – моечная машина *4* и контрольные пункты *3*. В зоне готовых деталей *5* размещена тара для отправки деталей на сборку. По обе стороны линии предусмотрены стружкоуборочные конвейеры *1*.

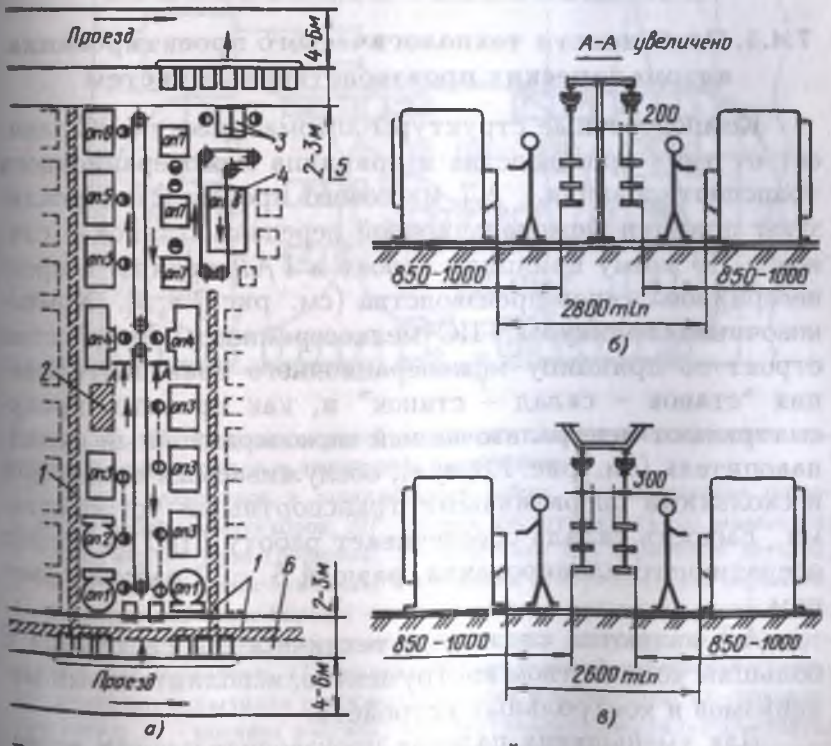


Рис. 7.13. Схема планировки поточной линии при применении подвесных конвейеров (*а*) и варианты крепления конвейеров (*б*, *в*)

тумбочек, плит и другой организационной оснастки, а также места подводов энергоносителей и технологических жидкостей. В ходе планировки их размещают на подготовленном компоновочном плане участка, закрепляя прозрачной клейкой лентой. В этом случае сокращается до минимума доработка планов и уменьшается в 1,5...2 раза трудоемкость планировочных работ по сравнению с трудоемкостью планировки при использовании шаблонов-габаритов оборудования.

Темплетный метод используют также и при разработке планов на ЭВМ. При этом в соответствии с выбранным вариантом расположения, обеспечивающим минимальные мощности грузопотоков на участке, размещают темплеты рабочих мест, заранее введенные в банк данных машин в виде отдельных графических файлов.

При разработке планировок цехов, имеющих сложные транспортные системы подвесных и напольных конвейеров, монорельсов и автоматизированных складов, эффективно использовать метод объемного макетирования, при котором применяют (выполненные в определенном масштабе) объемные модели станков, рабочих мест сборки, транспортных систем и строительных элементов зданий. Объемные модели позволяют правильнее разместить транспортно-технологическое оборудование в объеме здания и избежать многих ошибок в расположении отдельных транспортных систем по высоте, возможных при плоскостном изображении. Современные средства машинной графики позволяют выполнять планировки на ЭВМ в трехмерном пространстве.

Рассмотрим некоторые конкретные примеры планировок участков и линий механической обработки и сборки.

При создании поточных линий массового производства возникают осложнения при размещении оборудования разной производительности. В этом случае на смежных операциях предусматривают различное число станков и распределение потока заготовок. Пример планировки поточной линии с использованием подвесных конвейеров в

качестве межоперационного транспорта дан на рис. 7.13. В начале линии предусмотрена зона *6* шириной 2...3 м для размещения тары с заготовками. Далее размещены два ряда станков по обе стороны двух подвесных конвейеров. Конвейеры оснащают многополочными подвесками или подвесками со штырями, ячейками и другими элементами, что позволяет их использовать также в качестве накопителей. На линии предусмотрены три подвесных конвейера, разбивающих ее на три участка. На первом участке имеется резервная площадь *2*, а в конце линии – моечная машина *4* и контрольные пункты *3*. В зоне готовых деталей *5* размещена тара для отправки деталей на сборку. По обе стороны линии предусмотрены стружкоуборочные конвейеры *1*.

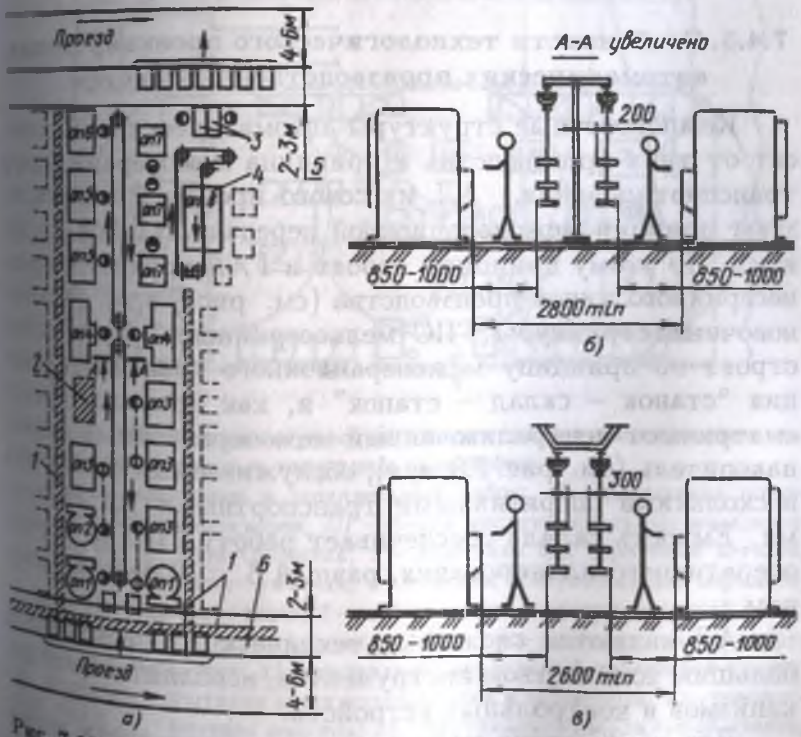


Рис. 7.13. **Схема планировки поточной линии при применении подвесных конвейеров (*а*) и варианты крепления конвейеров (*б*, *в*)**

На рис. 7.14 дана планировка участка сборки редукторов, шпиндельных бабок и инструментальных магазинов координатно-расточных станков с ЧПУ. Участок расположен в пролете шириной 24 м. Перемещение деталей на сборку осуществляют со склада напольным транспортером, для выполнения операций подъема и перемещения в процессе сборки предусмотрены четыре консольно-поворотных крана. Собранные узлы транспортируют мостовым краном, а на участок общей сборки передают напольной электрофицированной тележкой. Сборку ведут на сборочных столах и поворотных стендах. Собранные узлы здесь же испытывают, для чего предусмотрены испытательные стенды для редукторов и шпиндельных бабок и один стенд для инструментальных магазинов.

7.4.5. Особенности технологического проектирования автоматических производственных систем

Компоновочные структуры автоматических ПС зависят от типа производства и принципа межоперационного транспортирования. АЛ массового производства реализуют принцип межоперационной передачи "станок – станок". По этому принципу строят и ГАЛ крупно- и среднесерийного типов производства (см. рис. 7.8, *б*). Компоновочные структуры ГПС мелкосерийного производства строят по принципу межоперационного транспортирования "станок – склад – станок" и, как правило, предусматривают централизованный межоперационный склад-накопитель (см. рис. 7.8, *а*, *в*), обслуживаемый одним или несколькими оперативными транспортными устройствами. Емкость склада обеспечивает работу ГПС на период оперативного планирования, равный 6 ... 10 рабочим сменам.

АЛ являются сложными техническими системами с большим количеством инструментов, исполнительных механизмов и контрольных устройств.

Для уменьшения падения производительности вследствие отказов отдельных элементов технических систем

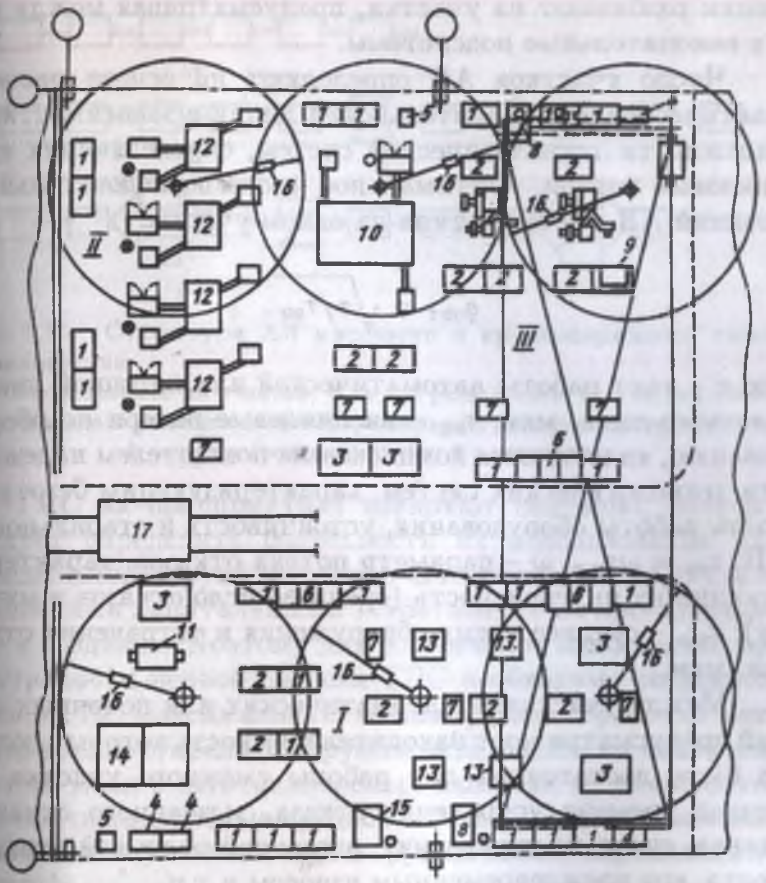


Рис. 7.14. Планировка участка сборки инструментальных магазинов, редукторов и шпиндельных бабок:
I – сборка редукторов и шпиндельных бабок; *II* – испытание шпиндельных бабок и редукторов; *III* – сборка инструментальных магазинов; *1* – верстак; *2* – стол сборщика; *3* – подставка для корпусных деталей; *4* – инструментальные тумбочки; *5* – стеллаж поворотный для нормалей; *6* – стол приемный для тары; *7* – стол-тележка; *8* – гидравлический пресс; *9* – настольно-сверлильный станок; *10* – стенд для испытания инструментальных магазинов; *11* – радиально-сверлильный переносной станок; *12* – стенд для испытания шпиндельных бабок и редукторов; *13* – поворотный стенд; *14* – моечная машина; *15* – вертикально-сверлильный станок; *16* – консольно-поворотный кран; *17* – электрифицированная передаточная тележка

линии разбивают на участки, предусматривая между ними накопительные подсистемы.

Число участков АЛ определяют на основе расчета фактической производительности линий в зависимости от надежности технологических систем, определяющих внецикловые потери. Оптимальное число последовательных позиций АЛ жесткого типа на одном участке

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\tau / \tau_{\text{вц}}},$$

где τ – такт работы автоматической или поточной линии жесткого типа, мин; $\tau_{\text{вц}}$ – внецикловые потери по оборудованию, являющиеся комплексным показателем надежности технологических систем, характеризующим безотказность работы оборудования, устойчивость и стабильность ТП, $\tau_{\text{вц}} = \omega \tau_{\text{у.о}}$; ω – параметр потока отказов, характеризующий их интенсивность (среднее число отказов в минуту); $\tau_{\text{у.о}}$ – среднее время обнаружения и устранения отказов, мин.

Между участками автоматических или поточных линий предусматривают накопители, емкость которых должна быть достаточной для работы смежного участка на период времени устранения отказа, вызванного отказом станка, системы управления, внезапной поломкой инструмента, его преждевременным износом и т.п.

Емкость накопителя определяют по формуле

$$Z_{\text{н}} = K_{\text{зп}} \tau_{\text{у.о}} / \tau,$$

где $K_{\text{зп}}$ – коэффициент запаса, равный $1,3 \ldots 1,5$.

Типичными для АЛ жесткого типа будут структуры, показанные на рис. 7.15. Короткие АЛ состоят из одного участка (см. рис. 7.15, *а*), линии с числом станков (позиций) более 10, как правило, разбивают на два или несколько участков с накопителями между ними (см. рис. 7.15, *б*, *в*).

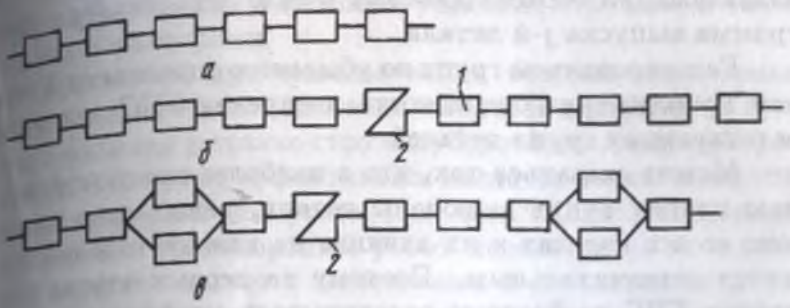


Рис. 7.15. **Структура АЛ массового и крупносерийного типов производства:**
а - без разделения на участки; *б, в* – с разделением на участки последовательного и последовательно-параллельного действия соответственно; *1* – станки (позиции) линии; *2* – накопитель

ГПС на предприятиях внедряют поэтапно, поэтому следует определить очередность их использования для определенных групп деталей. Это очень важно в связи с большими капитальными затратами на их проектирование и создание. Поэтому для обеспечения наибольшей эффективности первой очереди ГПС необходимо сосредоточить в ГПС максимальную концентрацию обработки наиболее предпочтительной группы деталей или их станкоемкостей. Если в изготавливаемых изделиях не выявляются однозначные подобные предпочтительные группы деталей, коэффициент значимости k-й группы можно определить по формуле

$$K_{\text{зн}k} = V_k W_k,$$

где V_k – отношение станкоемкости деталей k-й группы к суммарной станкоемкости всех деталей, т.е. $V_k = T_{\text{ст}k}/T_{\text{ст}\Sigma}$; W_k – параметр, характеризующий долю деталей k-й группы в общем объеме деталей,

$$W_k = \sum_{j=1}^{f} N_{kj} \Big/ \sum_{j=1}^{m} N_j;$$

f – число наименований деталей в k-й группе; N_{kj} – программа выпуска j-й детали k-й группы; m – общее число

наименований обрабатываемых в цехе деталей; N_j – программа выпуска j-й детали.

Ранжированием групп по убыванию определяют в первом приближении очередность внедрения ГПС для соответствующих групп деталей.

Может оказаться так, что в наиболее предпочтительную группу будут включены детали, равномерно входящие во все изделия и их влияние на каждое изделие окажется незначительным. Поэтому на первых этапах внедрения ГПС необходимо рассчитывать коэффициент значимости $K_{\text{зн.и}}$ для групп деталей каждого изделия.

$$K_{\text{зн.и}} = V_{k\,\text{и}} W_{k\,\text{и}}.$$

Здесь $V_{k\,\text{и}} = T_{\text{ст}\,k\,\text{и}} / T_{\text{ст.и}}$; $W_{k\,\text{и}} = \sum_{j=1}^{f_{\text{и}}} N_{kj} \Big/ \sum_{j=1}^{m_{\text{и}}} N_j$; $f_{\text{и}}$, $m_{\text{и}}$ – соответственно число разных деталей изделия в k-й группе и в изделии в целом.

По значению $K_{\text{зн.и}}$ оценивают значимость групп деталей для конкретных изделий и судят о целесообразности и наибольшей эффективности первоочередного внедрения ГПС.

Одной из составляющих ГПС является автоматизированная транспортно-складская система (АТСС). АТСС является организационной основой ГПС, обеспечивающей возможность планирования производства и реагирования на ситуации, возникшие в ходе производства. Она материализует действия АСУП и обеспечивает взаимодействие различного оборудования ГПС. Поэтому при выборе компоновочной схемы ГПС в первую очередь необходимо увязать расположение ГПМ и АТСС.

Относительно транспортной магистрали станочные модули размещают вдоль, поперек, под углом, а также кустами с использованием кольцевых структур при загрузке станков роботами (рис. 7.16). Выбор варианта определяется видом транспорта, способом загрузки заготовок на ста-

нок, направлением и способом удаления стружки, а также другими факторами.

Например, при использовании безрельсовых транспортных роботов для доставки заготовок и деталей в кассетах и наличии в станке стружкоуборочного транспортера с тыльной стороны эффективным является размещение станочных модулей под углом (см. рис. 7.16, *в*). При такой планировке транспортный робот используется не только для передачи кассет с заготовками и деталями, но и для транспортирования емкости со стружкой на участок сборки.

При использовании стружкоуборочных конвейеров применяют размещение станочных модулей вдоль или поперек транспортной магистрали. Продольное расположение характерно при обработке заготовок в ГПС на приспособлениях-спутниках. При этом варианте наиболее просто осуществляется стыковка загрузочных устройств станка с рельсовыми или безрельсовыми транспортными роботами и транспортерами спутников.

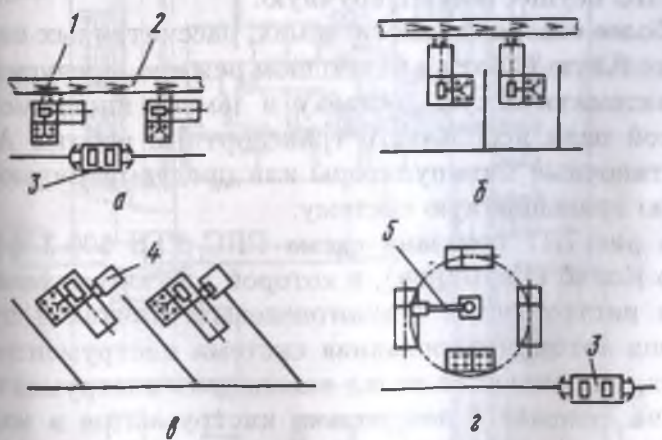


Рис. 7.16. Схемы размещения станочных модулей относительно трассы движения транспортного робота:
а – вдоль; *б* – поперек; *в* – под углом; *г* – в виде кольцевой структуры; *1* – ГПМ; *2* – стружкоуборочный конвейер; *3* – транспортный робот; *4* – емкость для стружки; *5* – загрузочный робот

Опыт проектирования показывает, что в пролете шириной 18 м удается разместить до трех рядов оборудования ГПС обработки тел вращения и один или два ряда оборудования при обработке корпусных деталей. В пролете шириной 24 м размещают до четырех рядов станков при обработке тел вращения и мелких корпусных деталей и два или три ряда оборудования при обработке корпусных деталей.

На компоновку ГПС наряду со структурой и схемой АТСС влияют и другие системы обеспечения функционирования производства. Важнейшим компонентом ГПС является система инструментообеспечения, которая включает участок инструментальной подготовки и технические средства для доставки и замены инструментов в магазинах станочных модулей. Как правило, участок инструментальной подготовки входит в состав ГПС, однако возможно инструментальное обслуживание цеховым отделением. Доставку и замену инструментов в магазинах и револьверных головках станочных модулей в более простых ГПС осуществляют вручную.

В более совершенных системах, рассчитанных на продолжительную работу в безлюдном режиме, предусматривают автоматическую доставку и замену инструментов. Для этой цели используют транспортные роботы АТСС и пристаночные манипуляторы или предусматривают отдельную транспортную систему.

На рис. 7.17 показана схема ГПС FFS 500-3 фирмы Вернер Кольб (Германия), в которой для автоматической замены инструментов в многоцелевых станках *1* предусмотрена автоматизированная система инструментообеспечения, включающая склад-накопитель инструментов *2*, робот на тележке *3* для подачи инструментов в магазины станков и в склад-накопитель, а также станцию *5* для предварительной настройки инструментов. Для транспортирования заготовок в ГПС применена рельсовая тележка *9*, вдоль трассы которой размещены накопители палет *10*. Запаса палет достаточно для работы без обслу-

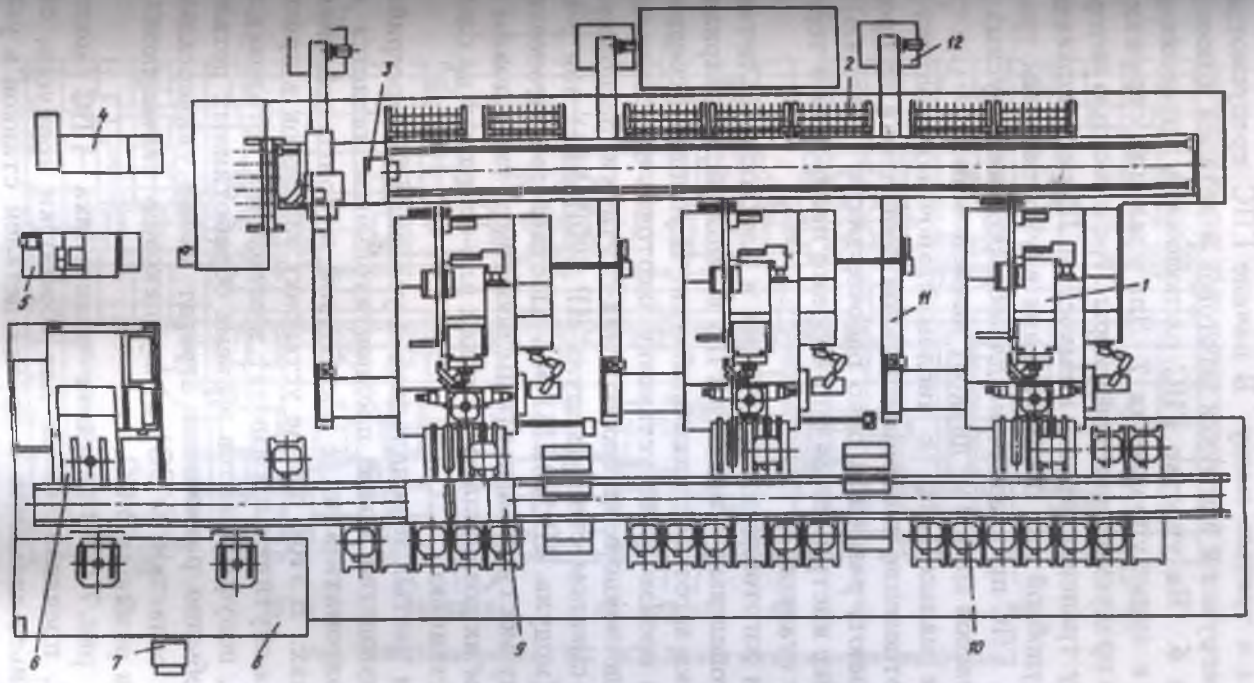


Рис. 7.17. ГПС для изготовления корпусных деталей с автоматизированной системой инструментообеспечения и уборки стружки

живания в третью смену. В начале ГПС предусмотрена зона *8* загрузки и выгрузки заготовок и деталей и моечная машина *6*. На участке ГПС расположена управляющая ЭВМ *4* и пульт управления *7*. Для удаления стружки от станков предусмотрены конвейеры *11*, с помощью которых стружку транспортируют к емкостям *12*, расположенным в зоне, удобной для обслуживания внутрицеховым транспортом. ГПС предназначена для обработки корпусных деталей массой до 500 кг двухсот наименований.

Для малых ГПС, с числом станочных модулей до 6...8, отделение инструментальной подготовки не предусматривают, размещая одно рабочее место (станцию) по настройке инструментов с приборами настройки и терминалом у станков.

При изготовлении корпусных и плоскостных деталей на многоцелевых станках в ГПС возможны два варианта установки заготовок для обработки. В условиях среднесерийного производства установку заготовок осуществляют непосредственно в приспособления-спутники, расположенные на сменном столе (модуль ИР 500ПМФ4) или в магазине (модуль ИР 500ПМ1Ф4). Доставляют заготовки к рабочему месту транспортным роботом в таре, таким же способом их возвращают на склад или передают на следующую станцию.

При частых переналадках в условиях мелкосерийного производства более предпочтительным является вариант автоматизации с обработкой в приспособлениях-спутниках. В этом случае установку заготовок в приспособления-спутники производят в отделении установки заготовок, полуфабрикатов и съема обработанных деталей. Рядом обычно размещают агрегат мойки универсально-сборной оснастки (УСО) и спутников, а также позиции сборки и разборки УСО.

На рис. 7.18 приведена планировка ГПС модели АСК-20, предназначенная для обработки корпусов, столов, звеньев звездочек и других деталей станков в условиях мелкосерийного производства. В ГПС предусмотре-

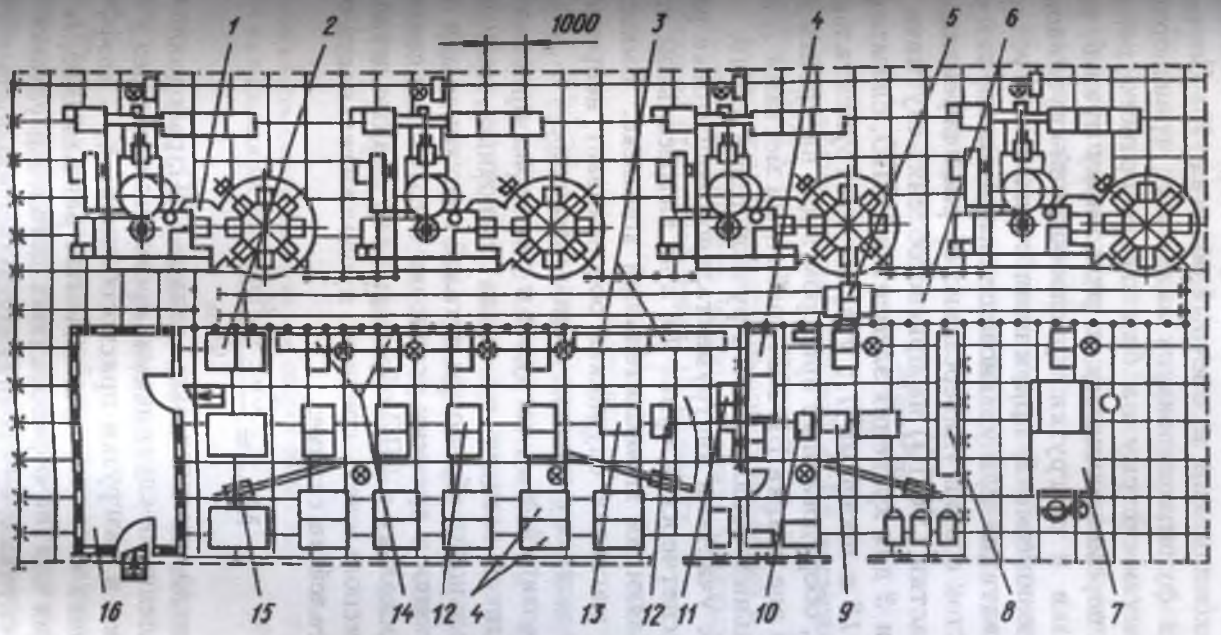


Рис. 7.18. Планировка ГПС АСК-20 для изготовления корпусных деталей в условиях мелкосерийного производства

ны четыре ГПМ *1* модели ИР500ПМ1Ф4 с шестипозиционными накопителями и моечный агрегат *7*. Система обеспечения функционирования включает: транспортно-накопительную систему на базе транспортного робота "Талка" *5*, перемещающегося по рельсовому пути *6*; участок загрузки и разгрузки приспособлений-спутников с рабочими позициями *2*, приемными столами *12*, устройствами ориентации *14* и уравновешенными манипуляторами *15*; участок сборки универсально-сборной переналаживаемой оснастки (УСПО) на приспособления-спутники со стеллажами *3* для хранения элементов УСПО, слесарным верстаком *13* и шкафами *11*; участок инструментальной подготовки, оборудованный прибором *9* для настройки инструментов вне станка БВ 2027, рабочими местами *4*, инструментальным стеллажом *8* и ручной тележкой *10*.

Рядом с участком инструментальной подготовки расположен диспетчерский пульт *16*, а на антресольном этаже – управляющий вычислительный комплекс. Емкость станочного магазина спутников обеспечивает непрерывную работу модуля в течение смены и более.

Число позиций $М_{поз}$ загрузки и разгрузки приспособлений-спутников зависит от числа станочных модулей, продолжительности обработки деталей в спутнике при одном закреплении и времени установки заготовок и снятия деталей. Поскольку в ГПС обрабатывают разные детали, то удобнее использовать среднюю продолжительность обработки деталей на станке:

$$М_{поз} = \frac{С_{м.с} Ф_о К_з t_в}{\bar{t} Ф_{поз}},$$

где $С_{м.с}$ – число многоцелевых станков ГПС, работающих с приспособлениями-спутниками, проходящими через участок загрузки и разгрузки приспособлений; $К_з$ – коэффициент загрузки станков, принимаемый равным 0,85; $t_в$ – среднее время снятия обработанных деталей и установки заготовки в спутник; $\bar{t}$ – средняя продолжительность обработки детали, закрепленной в спутнике на станке; $Ф_{поз}$ –

эффективный фонд времени позиции в соответствии с режимом работы участка (одна или две смены).

В задачу рабочих по загрузке приспособлений входит также укладка обработанных полуфабрикатов или деталей в унифицированную тару для последующей отправки на автоматизированный склад.

Численность рабочих $Р_{з\text{-}р}$, обслуживающих позиции загрузки и разгрузки приспособлений-спутников, определяют по формуле

$$Р_{з\text{-}р} = \frac{M_{поз}\Phi_{поз}}{\Phi_р},$$

где $\Phi_р$ – эффективный годовой фонд времени рабочего, равный 1820 ч.

Зная число собираемых приспособлений в течение года, можно вычислить число рабочих, занятых сборкой и разборкой приспособлений, по формуле

$$N = \frac{С_{м.с}\Phi_о n_д}{\bar{t}N_п},$$

где $n_д$ – среднее число приспособлений-дублеров, используемых при обработке партии заготовок; $N_п$ – средний размер партии обрабатываемых деталей.

Известно, что один слесарь-сборщик собирает до 1000 компоновок УСО средней сложности в год. Площадь участка сборки УСО можно определить по следующим данным:

Численность слесарей на участке сборки УСО	1	2,3	4
Норма площади на человека, м^2	20	15	12

7.4.6. Определение состава и численности работающих

Состав и количество работающих механических и сборочных цехов определяется характером производственного процесса, степенью его автоматизации, уровнем кооперации и специализации вспомогательных служб в масштабах

корпуса или завода, структурой и степенью автоматизации системы управления производством.

Широкое использование АЛ в крупносерийном и массовом производствах, увеличение удельного веса станков с ЧПУ и ГПС в серийном производстве определяет уменьшение общего числа и доли производственных рабочих в составе работающих механосборочных цехов. Вместе с тем в связи с усложнением оборудования возрастает удельный вес инженерно-технических работников и вспомогательных рабочих. Однако широкое использование средств вычислительной техники и автоматизированных систем управления, призванных повысить производительность инженерного труда, а также внедрение автоматизированных систем технической диагностики современного оборудования, облегчающее его обслуживание, обеспечивают общее сокращение численности работающих.

Расчет численности работающих в зависимости от этапа проектирования и степени детализации проектных решений ведут по-разному.

При технико-экономическом обосновании проектов применяют укрупненные методы расчета. Далее в процессе проектирования полученные результаты корректируют по мере уточнения структуры цеха, планировки оборудования, схемы управления производством.

К производственным рабочим механических и сборочных цехов относят станочников и наладчиков оборудования, слесарей для выполнения ручных и механизированных операций обработки, пригонки и сборки, мойщиков деталей и других рабочих, непосредственно занятых выполнением операций ТП обработки деталей и сборки машин.

Численность производственных рабочих определяют по трудоемкости или станкоемкости выполняемого объема работ. Так, численность сборщиков и других рабочих, занятых на ручных операциях, вычисляют по формуле

$$\mathrm{P} = T/\Phi_{\mathrm{p}},$$

где T – годовая трудоемкость рассматриваемого вида работ.

Численность станочников при укрупненных расчетах определяют по станкоемкости годового объема работ

$$Р_{ст} = \frac{T_{ст\Sigma}}{\Phi_р K_м},$$

где $K_м$ – коэффициент многостаночного обслуживания, или среднее число станков, обслуживаемых одним рабочим.

Значение $K_м$ зависит от вида оборудования. Так, как правило, $K_м = 1$ для универсальных станков с ручным управлением, 3...8 для прутковых токарно-револьверных автоматов, 1...4 для многошпиндельных полуавтоматов, 2...4 для зубообрабатывающих полуавтоматов, 1...3 для агрегатно-сверлильных, агрегатно-расточных станков и 2...3 для станков с ЧПУ.

Указанные нормы даны для работы с наладчиками. При укрупненных расчетах численности производственных рабочих цеха можно принимать усредненные значения $K_м$: 1,1...1,3 для цехов мелкосерийного и единичного типов производства, 1,3...1,5 для среднесерийного и 1,6...2,2 для крупносерийного и массового.

Численность станочников можно определить также по числу станков $C_п$ в цехе или на участке:

$$Р_{ст} = \frac{С_п \Phi_о (K_з K_и)_{ср}}{\Phi_р K_м}.$$

При укрупненных расчетах $(K_з K_и)_{ср}$ следует принимать равным 0,85 для единичного, мелкосерийного и среднесерийного типов производства и 0,8 для крупносерийного и массового производств.

Численность сборщиков вычисляют по числу рабочих мест $М_{сб}$ по формуле

$$Р_{сб} = \frac{М_{сб} \Phi_{р.м} K_з П}{\Phi_р},$$

где $\Phi_{р.м}$ – эффективный годовой фонд времени рабочего места; П – плотность работы – среднее число рабочих, одновременно работающих на одном рабочем месте. Значение $K_з$ для сборки принимают равным 0,8.

При поточной сборке необходимо дополнительно предусматривать до 5 % к общему числу производственных рабочих так называемых "скользящих" рабочих для замены временно отсутствующих.

В условиях крупносерийного и массового типов производства для обслуживания станков в составе производственных рабочих предусматривают наладчиков, численность которых определяют по нормам обслуживания, установленным для каждого типа оборудования.

В условиях мелкосерийного и серийного производств использование наладчиков на универсальном оборудовании не рекомендуется. Здесь, как правило, рабочие имеют высокую квалификацию и наладку универсального оборудования выполняют сами.

В автоматизированном производстве к числу производственных рабочих относят операторов и наладчиков АЛ массового производства и операторов-наладчиков модулей ГПС.

Численность наладчиков автоматических и сборочных линий определяют по нормам обслуживания в зависимости от числа позиций АЛ. На АЛ механической обработки один наладчик в зависимости от сложности наладки (числа инструментов и квалитета точности обработки) обслуживает 3...10, а на сборочных 6...12 позиций АЛ. Один оператор-наладчик ГПС обслуживает следующее количество модулей разных типов: 3...4 токарных, 2 карусельных; 2...3 сверлильно-фрезерно-расточных и шлифовальных, 3...4 зубообрабатывающих, электрофизических и электрохимических, 2...3 сборочных (меньшие значения даны при количестве модулей в составе ГПС равном 5 единицам, большие – свыше 5 единиц). Все приведенные выше нормативы даны в расчете на одну смену.

При детальных расчетах численность производственных рабочих-станочников уточняют с учетом размещения оборудования и анализа реальных условий многостаночного обслуживания. Такой анализ проводят на основе разработанных планировок. При этом рассматривают возможности обслуживания одним рабочим нескольких станков одной либо смежных линий. Особенно тщательно анализ проводят при проектировании участков и линий крупносерийного и массового производств.

Основное условие для применения многостаночного обслуживания заключается в том, чтобы за время машинно-автоматической работы одного станка рабочий смог выполнить работу по обслуживанию других станков, т.е.

$$t_{\text{м}} \geq \sum_{i=1}^{m-1} t_{\text{p}_i},$$

где $t_{\text{м}}$ – время машинно-автоматической работы станков, когда рабочий свободен от обслуживания станков и активного наблюдения за их работой; $\sum_{i=1}^{m-1} t_{\text{p}_i}$ – суммарное время обслуживания и активного наблюдения за работой других станков с учетом времени на переход от одного станка к другому. При обслуживании станков-дублеров, выполняющих одинаковую операцию, число станков, обслуживаемых одним рабочим, будет равно

$$m = \frac{t_{\text{м}}}{t_{\text{p}}} + 1.$$

В этом случае несколько станков, обслуживаемых одним рабочим, образуют зону обслуживания.

В соответствии с операционными картами, определяющими характер выполняемых операций, устанавливают

разряд работы при выполнении операций и средний разряд производственных рабочих цеха или участка. В заключение расчета составляют сводную ведомость производственных рабочих с разбивкой общего количества производственных рабочих по сменам.

К вспомогательным относятся рабочие, выполняющие функции технического обслуживания производственных участков и линий: рабочие ремонтных и инструментальных служб, транспортные и подсобные рабочие, контролеры отдела технического контроля, уборщики производственных помещений, рабочие складов и кладовых и др.

Численность вспомогательных рабочих в цехах механосборочного производства составляет 20 ... 35 % от числа производственных рабочих. При детальном проектировании вспомогательных служб число вспомогательных рабочих определяют либо по нормам обслуживания, либо по трудоемкости выполняемого объема работ.

К категории *инженерно-технических работников* (ИТР) относятся лица, осуществляющие руководство цехом и его структурными подразделениями: начальник цеха, его заместители, начальники отделений, участков, лабораторий, мастера, а также работники, занимающие должности, требующие квалификации инженера или техника (инженеры, технологи, техники, экономисты, нормировщики, механики, энергетики и т.д.).

При укрупненном проектировании численность ИТР механических цехов определяют по нормам: 15 ... 24 % от количества основных станков цеха, а сборочных – 7 ... 12 % от числа производственных рабочих.

При детальных расчетах численность ИТР уточняют в соответствии с разработанной структурой цеха и схемой его управления. Предполагается, что 70 % от общей численности ИТР работает в первую смену.

К категории *служащих* относится персонал, выполняющий работы по счету, отчетности, снабжению, оформлению и т.п. Это бухгалтеры, кассиры, копировщики,

чертежники, секретари, учетчики, заведующие складами и кладовых и др. Причем использование ЭВМ для бухгалтерского учета и расчетов заработной платы позволяет централизовать эту работу в масштабе завода.

Численность служащих механических и сборочных цехов определяют по нормам в зависимости от численности производственных рабочих. Для механических цехов единичного и мелкосерийного типов производства служащие составляют $1,2 \ldots 2,2\,\%$, для среднесерийного производства $0,9 \ldots 1,9\,\%$, для крупносерийного производства $0,6 \ldots 1,6\,\%$, для массового производства $0,1 \ldots 1,4\,\%$ от числа производственных рабочих. Меньшие значения соответствуют численности производственных рабочих цеха более 700 человек, большие – менее 75. Нормы даны для условий централизации табельного учета и бухгалтерских расчетов по заводу, т.е. эти работники в состав работающих цеха не входят. Для первой смены численность служащих принимают равной $70\,\%$ от их общего числа.

К категории *младшего обслуживающего персонала* относят уборщиков конторских и бытовых помещений. Их численность определяют по норме – один человек на $500 \ldots 600$ м^2 площади указанных помещений.

Численность персонала ГПС определяют при детальном проектировании и конструкторской проработке отдельных ее подсистем. В качестве примера в табл. 7.10 приведены состав и численность персонала ГПС модели АЛП-3-2 для обработки более 70 наименований корпусных деталей размером до $250 \times 250 \times 250$ мм в условиях мелкосерийного производства. ГПС включает семь многоцелевых станков и один пятикоординатный станок с ЧПУ для глубокого сверления, автоматизированную систему загрузки станков, автоматический склад, автоматизированную систему инструментообеспечения и другие системы.

Таблица 7.10. **Состав и численность работающих в ГПС модели АЛП-3-2**

Состав работающих	Численность работающих в смену		
	первую	вторую	третью
Операторы ГПМ	4	1	1
Наладчики оборудования и систем ЧПУ	5	2	1
Сменные мастера	3	–	–
Операторы по загрузке, разгрузке приспособлений спутников и подготовке оснастки	6	–	–
Технологи-программисты	6	–	–

При проектировании участков из станков с ЧПУ для предварительных расчетов можно пользоваться следующими нормами численности работающих на один станок: операторы 0,8; слесари-ремонтники 0,07; электрики 0,045; электронщики 0,10; программисты 0,25; служащие 0,01.

7.5. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

7.5.1. Транспортно-складская система

Материальные потоки заготовок, полуфабрикатов, сборочных единиц, готовых деталей и изделий в процессе производства реализуются с помощью транспортно-складской системы. Процесс производства начинается и заканчивается на складах, где происходит преобразование параметров грузопотока. Если, например, при передаче из механического цеха M в сборочный C грузопоток по номенклатуре и интенсивности не меняется (рис. 7.19, *а*), то склад не требуется. Если детали из механического цеха выходят однотипными партиями, а на сборке требуются комплекты разных деталей для сборки изделия

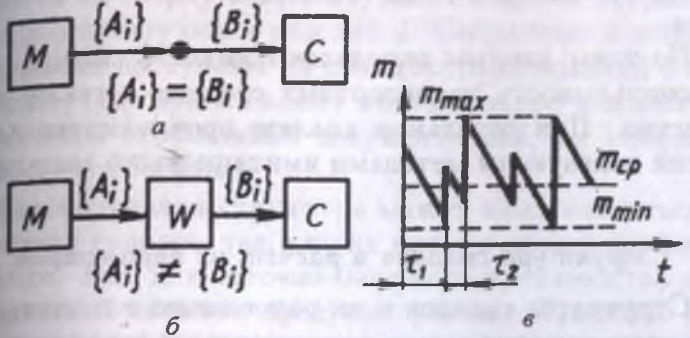


Рис. 7.19. Условия создания склада W (*а*, *б*) и изменение во времени массы грузов, хранимых на складе (*в*)

(рис. 7.19,*б*), то необходимо иметь склад для преобразования параметра грузопотока. Динамика изменения состояния склада, характеризуемая массой грузов m на складе во времени τ, выражается зависимостью, приведенной на рис. 7.19, *в*. Количество грузов на складе характеризуется средним значением $\overline{m}_{\text{ср}}$ и изменяется от $m_{\max}$ в момент поступления груза до $m_{\min}$ в зависимости от массы поступающих грузов и промежутков времени между очередными поступлениями, при этом

$$m_{\tau_2} = m_{\tau_1} + \int_{\tau_1}^{\tau_2} (A_i(\tau) - B_i(\tau))\,\mathrm{d}\tau,$$

где m_{τ_1} и m_{τ_2} – массы грузов на складе в моменты времени соответственно t_1 и t_2; $A_i(\tau)$ и $B_i(\tau)$ – временные функции соответственно входного и выходного грузопотоков.

Ввиду сложности вероятностной оценки грузопотоков, возникающих в складской системе в разные моменты времени, в практике проектирования цехов пользуются нормативными данными о запасе хранения, выражаемыми числом календарных или рабочих дней, в течение которых склад может обеспечить бесперебойную работу участка или цеха, а также средней величиной прибывающей или

отправляемой партии груза и периодичностью их поступления.

По этим данным определяют емкость склада, тип и грузоподъемность транспортных средств, а также их количество. При детальном анализе производственных ситуаций пользуются методами имитационного моделирования.

Структура складов и расчет их параметров

Структуры складов и их размещение в значительной мере определяются типом производства и характером ТП.

Общая структура складской системы механосборочного производства показана на рис. 7.20. В начале линий механической обработки обычно предусматривают склад металла и заготовок *1*. В зависимости от грузопотока и производственной мощности цеха это может быть один централизованный или несколько специализированных по видам материала или заготовок складов. При размещении нескольких цехов в одном корпусе целесообразно рассмотреть возможность создания централизованного склада заготовок.

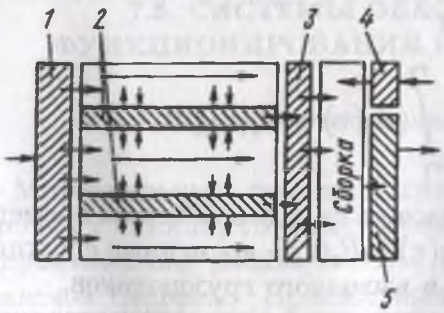


Рис. 7.20. Функциональная структура складской системы в механосборочном производстве

Для хранения заготовок между операциями ТП в условиях единичного и серийного производства имеется межоперационный склад *2*. Для хранения готовых деталей в структуре сборочного цеха предусматривают склад *3* с отделением или секцией для комплектования деталей в нужном количестве и ассортименте на сборку. Для хранения

и выдачи на сборку комплектующих изделий устраивают склад комплектующих изделий *4*. Собранные и испытанные изделия поступают на склад готовых изделий *5* с экспедицией, где осуществляют окончательное комплектование изделий необходимой документацией, их упаковку и отправку потребителю.

Рассмотренная структура может видоизменяться как по составу складов, так и по их месту в производственном процессе. Так, для поточно-массового производства межоперационный склад не предусматривают. Единство целей и функций складов определяет возможность их централизации. При этом возрастает эффективность использования складского транспорта и объема складов, но удлиняются маршруты цехового транспорта. Поэтому основной критерий выбора структуры складской системы – наименьшие приведенные затраты на создание и эксплуатацию общей транспортно-складской системы.

Склады металла и заготовок предусматривают при механических цехах единичного и мелкосерийного производств. В состав этого склада часто входит заготовительное отделение для резки проката на штучные заготовки и зацентровки. В массовом производстве склады заготовок обычно размещают при заготовительных цехах, а в начале линий механической обработки предусматривают зону шириной 2...3 м для размещения тары с заготовками, как это показано на рис. 7.13. Исключение составляют автоматные цехи, где предусматривают склад прутковых материалов.

Штучные заготовки, а также резаный прокат хранят в таре. Применение унифицированной тары очень важно для того, чтобы исключить перекладывание заготовок при транспортировании их с других заводов в порядке кооперации, а также при межкорпусном перемещении. Заготовки в ящичной таре удобно складировать штабелем в несколько ярусов, а применение ящичных поддонов с открывающейся верхней частью одной из стенок позволяет отбирать детали из нижних поддонов штабеля, не снимая

верхние поддоны. Штабельное хранение применяют также для крупных и тяжелых отливок, сварных конструкций, а также для небольших складов с однородными по номенклатуре заготовками. Укладку поддонов в штабель осуществляют напольными электропогрузчиками, высокая маневренность и высота подъема вильчатого захвата которых обеспечивает укладку пяти ярусов поддонов с заготовками. Это очень экономичный вид складирования заготовок для небольших цехов.

Склады стеллажной конструкции, более емкие по сравнению со штабельной формой хранения, занимают меньшую площадь из-за лучшего использования здания по высоте, а также обеспечивают возможность автоматизации складских работ. К тому же высокая устойчивость конструкции обеспечивает безопасность работы. Особенно эффективны склады стеллажной конструкции при большой номенклатуре заготовок или полуфабрикатов. При этом для груза каждого наименования отводят свою зону хранения, что обеспечивает порядок и четкую организацию складских работ.

Недостатком складов стеллажной конструкции является их малая гибкость к изменению планировки, так как для создания подобного склада требуются специальные фундаменты с закладными элементами. Поэтому создание и размещение подобных складов следует увязывать с перспективой развития цехов и завода в целом.

В машиностроительных цехах в основном применяют два варианта компоновок складов с участками приема, хранения и выдачи грузов, показанные на рис. 7.21. В большинстве случаев используют тупиковую схему, при которой участки приема и выдачи заготовок размещены с одного торца склада. В этом варианте склад получается более компактным, удобна передача освобождающейся тары с одного участка на другой, оба участка могут обслуживать одни и те же рабочие. Передачу поддонов с заготовками на участки обработки осуществляют напольными или подвесными транспортерами. Продольно-поперечная

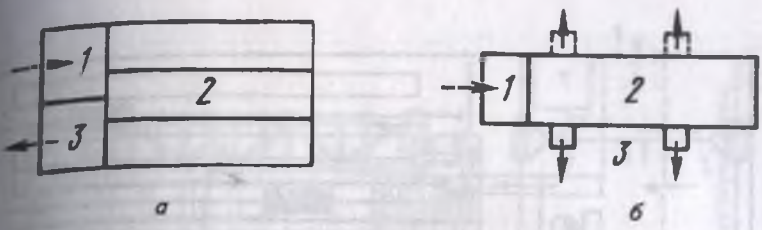


Рис. 7.21. Варианты компоновок складов с участками приема (*1*), хранения (*2*) и выдачи (*3*) грузов:
***а* – тупиковая; *б* – продольно-поперечная**

схема имеет преимущества в лучшей увязке с расположением производственных участков, так как участки выдачи при этом совмещены с началом линий обработки соответствующих деталей.

В каждом случае выбор компоновочной схемы склада должен быть увязан с общей компоновкой цеха и принятой транспортной системой.

На рис. 7.22 показана схема планировки централизованного автоматизированного склада тупикового типа. Заготовки *1* поступают на участок временного хранения *2*, оборудованный кран-балкой *12*, или непосредственно на транспортер приема поддонов *3* и далее на один из участков *14* ... *16* распределительного конвейера. После поворота поддон с заготовками попадает на одно из передаточных устройств *13*, расположенных в зоне обслуживания каждого штабелера, а затем штабелером *4* помещается в соответствующую ячейку склада. Для комплектования партии запуска поддон с заготовками доставляется штабелером к передаточному устройству *13*, а затем с помощью конвейеров *10* и *11* на участок комплектования *5*. Здесь операторы склада отбирают необходимое количество заготовок в поддон, находящийся на столе *9*. Поддон с оставшимися заготовками вновь возвращается в ячейку склада, а скомплектованные для обработки заготовки передают на площадку временного хранения *6* или для отправки на участок обработки. Отсюда заготовки цеховым транспортом *8* передаются для обработки. Управление складом осуществляют с пульта *7*.

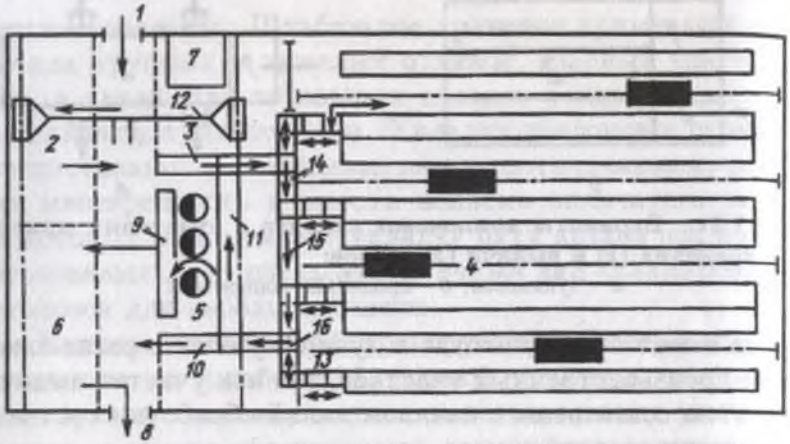


Рис. 7.22. Схема планировки автоматизированного склада тупикового типа

Для ГПС и участков механосборочного производства разработан типаж автоматизированных складов для межоперационного хранения на базе штабелеров грузоподъемностью 0,1; 0,25; 0,5 и 1 т. На рис. 7.23 приведена конструкция и основные параметры автоматизированного склада на базе штабелера грузоподъемностью 0,25 т. Высота стеллажей $H_г = 4,4 \ldots 10,4$ м. Максимальное число ячеек по горизонтали $n = 60$, по вертикали – 30. Габаритные размеры тары $800 \times 600 \times 300$ мм. Предусмотрена возможность стыковки склада с транспортной системой ГПС с обеих сторон, что позволяет обслуживать два участка. Максимальное число ячеек на складе 2530 при его длине 41,8 м.

При укрупненном проектировании цехов площадь складов определяют на основании нормативных данных о запасах хранения заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей, используя технико-экономические показатели аналогичных складов. Расчетная формула имеет вид

$$S_{скл} = \frac{m_{\Sigma} ti}{Дq K_и},$$

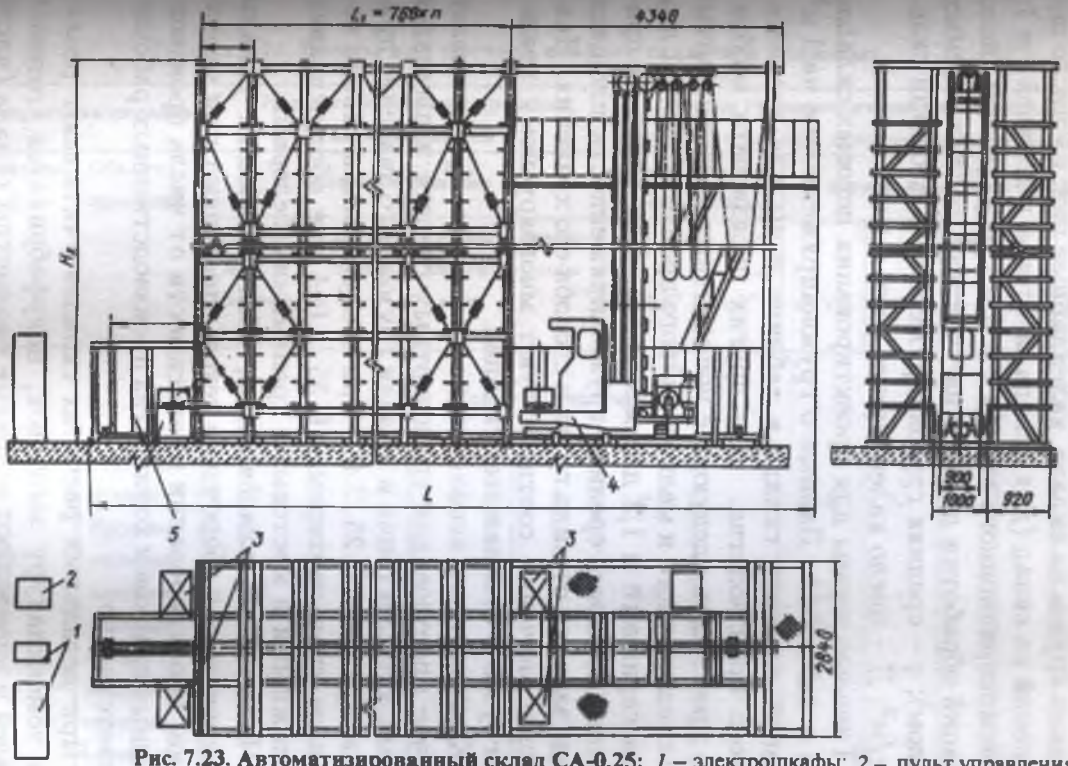


Рис. 7.23. Автоматизированный склад СА-0,25: *1* – электрошкафы; *2* – пульт управления; *3* – позиции загрузки; *4* – штабелер; *5* – ограждение

где m_Σ – масса заготовок, полуфабрикатов, деталей, проходящих через цех в течение года, т; t – нормативный запас хранения грузов на складе, календарные дни; i – число поступлений на склад (для склада заготовок и деталей $i = 1$, для межоперационного склада $i = n - 1$, n – среднее число операций обработки деталей на участках, обслуживаемых складом); q – средняя грузонапряженность площади склада, т/м^2; Д – число календарных дней в году.

Типовые нормы для проектирования цеховых складов даны в табл. 7.11. Данные о грузонапряженности на 1 м^2 полезной площади склада в таблице даны для среднесерийного производства. Для других производств необходимо принимать следующие поправочные коэффициенты: 0,8 для единичного и мелкосерийного производства; 1,1 для крупносерийного и 1,2 для массового. Как видно из приведенных данных, средняя грузонапряженность площади склада зависит от вида груза и способа его хранения. Наибольшие значения соответствуют многоярусному хранению грузов в стеллажных складах.

Коэффициент использования площади $K_и$ учитывает наличие проездов для транспортных средств и площадок приема, комплектации и выдачи грузов. Его значение принимают равным $0,25 \ldots 0,3$ при обслуживании склада напольным транспортером и $0,35 \ldots 0,4$ при обслуживании стеллажными и мостовыми кранами-штабелерами.

Численность кладовщиков, обслуживающих склады механического и сборочного цехов, определяют при укрупненном проектировании в зависимости от числа производственных станков и количества производственных рабочих соответственно.

При детальных расчетах складов учитывают реальную номенклатуру заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей и определяют основные параметры склада (число ячеек, секций, штабелеров, количество рабочих мест по приему, переработке и выдачи грузов) и путем планировки оборудования уточняют потребную площадь и определяют численность работающих.

Таблица 7.11. **Нормы для расчета цеховых складов и кладовых**

Характеристика складов		Нормативный запас хранения, календарные дни				Нормы грузонапряженности полезной площади, т/м², при хранении черных металлов						
Наименование складов, кладовых	Объект хранения	для производства				в штабелях высотой, м		в стеллажах высотой, м				
		единичного и мелкосерийного	среднесерийного	крупносерийного	массового	до 2,5*	до 3**	до 2,5	2,5–4	4–6	6–8	8–10
		Механические цехи										
Склад металла	Прутки, прокат	7	5	4	2	–	–	2,5	3,5	–	–	–
Склад заготовок	Крупные отливки, поковки	15	8	3	1	3,0	–	–	–	–	–	–
	Резаный прокат, мелкие и средние отливки и поковки	20	12	5	0,5–1	–	4,2	2,0	2,8	4,0	5,5	7,0

Продолжение табл. 7.11

Характеристика складов		Нормативный запас хранения, календарные дни				Нормы грузонапряженности полезной площади, т/м², при хранении черных металлов						
Наименование складов, кладовых	Объект хранения	для производства				в штабелях высотой, м		в стеллажах высотой, м				
		единичного и мелкосерийного	среднесерийного	крупносерийного	массового	до 2,5*	до 3**	до 2,5	2,5–4	4–6	6–8	8–10
Межоперационный склад	Крупные полуфабрикаты	15	10	3	–	2,5	–	–	–	–	–	–
	Полуфабрикаты средних и мелких деталей	20	12	3	–	–	3,5	1,5	2,2	3,0	4,2	5,5
Инструментально-раздаточная кладовая	Режущий, вспомогательный и измерительный инструмент	70–90	50–70	50-70	40-50	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 7.11

Характеристика складов		Нормативный запас хранения, календарные дни				Нормы грузонапряженности полезной площади, т/м², при хранении черных металлов						
Наименование складов, кладовых	Объект хранения	для производства				в штабелях высотой, м		в стеллажах высотой, м				
		единичного и мелкосерийного	среднесерийного	крупносерийного	массового	до 2,5*	до 3**	до 2,5	2,5–4	4–6	6–8	8–10
		Сборочные цехи										
Склад готовых деталей	Крупные и тяжелые детали	10	7	4	0,25	2	–	–	–	–	–	–
	Средние и мелкие детали	20	15	5	0,5	–	2,5	1,2	1,8	2,2	3,0	4,0
Склад готовых узлов	Крупные узлы	10	7	4	0,25	–	1,5	–	–	–	–	–
	Средние и мелкие узлы	15	12	4	0,5	–	–	1,0	1,5	1,8	2,5	3,2

Окончание табл. 7.11

Характеристика складов		Нормативный запас хранения, календарные дни				Нормы грузонапряженности полезной площади, т/м², при хранении черных металлов						
Наименование складов, кладовых	Объект хранения	для производства				в штабелях высотой, м		в стеллажах высотой, м				
		единичного и мелкосерийного	среднесерийного	крупносерийного	массового	до 2,5*	до 3**	до 2,5	2,5–4	4–6	6–8	8–10
Склад комплектующих изделий	Крупные изделия	7	5	2	1	–	1,5	–	–	–	–	–
	Средние и мелкие изделия	7	5	4	3	–	–	1,0	1,5	1,8	2,5	3,8
Инструментальная кладовая	Все виды инструмента	70–90	50–70	50–70	50–70	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. К крупным относятся изделия массой более 100 кг, к средним и мелким – менее 100 кг.

* Хранение поштучное

** Хранение в таре.

При этом находят массу заготовок (деталей) соответствующих запасу хранения по каждой группе:

$$Q_k = \frac{m_k t_k}{365},$$

где m_k – годовое поступление заготовок (деталей) k-й группы (штампованных заготовок, среднего литья, мелкого литья и др.), т; t_k – запас хранения, календарные дни.

Далее вычисляют количество единиц тары (поддонов) $Z_{\text{т}\,k}$ для размещения необходимого запаса по каждой группе заготовок или деталей:

$$Z_{\text{т}\,k} = \frac{Q_k}{C_{\text{т}\,k}} i_k,$$

где $C_{\text{т}\,k}$ – средняя вместимость груза в тару выбранного типа; i_k – число поступлений груза k-группы на склад, причем для склада заготовок $i = 1$, для межоперационного склада $i = (n_{\text{оп}} - 1)$; $n_{\text{оп}}$ – среднее число операций обработки деталей k-й группы.

В свою очередь, значение $C_{\text{т}\,k}$ определяют по максимальной грузоподъемности $q_{k\,\max}$ тары выбранного типа с учетом среднего значения коэффициента использования тары по грузоподъемности $\overline{K}_{\text{т}\,k}$:

$$C_{\text{т}\,k} = q_{k\,\max} \overline{K}_{\text{т}\,k}.$$

В зависимости от материала заготовок или деталей, а также плотности укладки $\overline{K}_{\text{т}} = 0,2 \ldots 0,85$. Необходимое число секций стеллажей $Z_{\text{ст}}$ рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{ст}} = \sum_{k=1}^{l} Z_{\text{т}\,k} / Z,$$

где l – число групп заготовок, полуфабрикатов или деталей, хранящихся на складе; Z – количество единиц тары, размещаемой в одной секции стеллажа выбранного типа.

Под секцией обычно подразумевают часть стеллажа, ограниченную по ширине одной ячейкой склада. Если в одной ячейке склада размещается один поддон, то емкость секции будет равна числу полезных ярусов хранения. Далее определяют полезную площадь склада путем планировки выбранного количества секций стеллажей с учетом используемого транспортного оборудования и размещения приемно-передаточных столов и рабочих мест.

Транспортное оборудование цехов

Транспортное оборудование в механосборочном производстве решает задачи межцеховой передачи заготовок деталей и сборочных единиц и межоперационного транспортирования в ходе обработки и сборки.

При выборе вариантов предпочтение следует отдавать тем видам транспорта, которые обеспечивают автоматизацию погрузочно-разгрузочных работ при передаче с межцехового транспорта на внутрицеховой и межоперационный. Большое значение в современном производстве приобретает возможность автоматического адресования грузов, дистанционное управление транспортными механизмами и подъемными машинами.

Основными видами транспортного оборудования для межкорпусного и межцехового транспортирования являются автотягачи, авто- и электропогрузчики, электротележки, а при постоянных и значительных грузопотоках в условиях крупносерийного и массового типов производства – подвесные конвейеры.

Для подъема, поворота, установки и перемещения заготовок, деталей, узлов и изделий при выполнении операций складирования, механической обработки и сборки в условиях мелко- и среднесерийного типов производства применяют различные виды периодически действующего подъемно-транспортного оборудования: мостовые краны, кран-балки, консольно-поворотные краны, электротали, электрогрузовозы на монорельсах, краны-штабелеры, каретки-операторы, транспортные роботы и др.

Мостовые опорные краны рекомендуется применять при максимальной массе заготовок и собираемых изделий более 5 т. Эти краны перемещаются по подкрановым балкам, предусмотренным в конструкции здания. Грузоподъемность однокрюковых кранов общего назначения составляет от 5 до 15 т , рекомендуемые расстояния для перемещения изделий до 50 м.

Для перемещения грузов массой до 5 т целесообразно использовать мостовые опорные однобалочные краны (кран-балки) и подвесные двухопорные или многоопорные краны, оснащенные электроталями грузоподъемностью от 0,5 до 5 т. Эти краны рекомендуется использовать при такте выпуска изделий более 8 ... 10 мин. Подвесные кран-балки не требуют размещения подкрановых балок, что обуславливает лучшее использование здания по высоте пролета, возможность перехода электротали с одной кран-балки на другую и стыковку с монорельсом. Благодаря этому можно передавать изделия из одного пролета в другой. Рекомендуемые расстояния перемещений этих кранов – до 30 ... 50 м.

Консольно-поворотные краны и шарнирно-балансирные манипуляторы используют непосредственно на рабочих местах с часто повторяющимися операциями подъема, поворота и перемещений заготовок собираемых сборочных единиц и изделий. Эти краны размещают на отдельных стойках или крепят непосредственно к колонне. Вылет стрелы составляет 3 ... 6 м, грузоподъемность 0,25 ... 3 т. Консольные краны оснащают серийными электротельферами или пневматическими подъемниками.

Электротали применяют либо в виде самостоятельного подъемно-транспортного оборудования, перемещающегося по монорельсовому пути, либо в составе однобалочных мостовых, подвесных, козловых и консольных кранов и электрогрузовозов.

На рис. 7.24 показана конструктивная схема электрогрузовоза, применяемого для перемещения готовых деталей с участков механической обработки на склад, а также

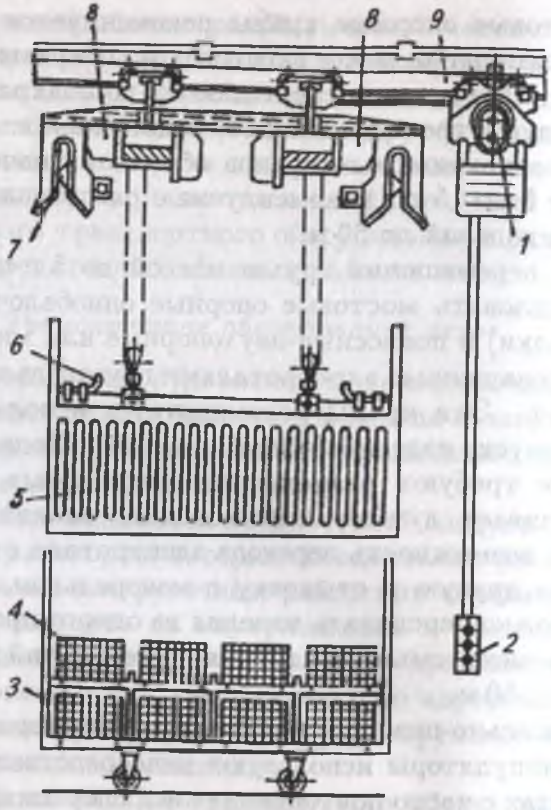


Рис. 7.24. Конструктивная схема электрогрузовоза

комплектов деталей с комплектовочных складов на сборку. Электрогрузовоз включает механизм продольного перемещения *1*, подъемно-отпускной пульт *2*, тележку *3* с деталями в производственной таре *4*, кожух *5*, затвор *6* для фиксации тележки, ловители тележки *7* и две электротали *8*. Электрогрузовоз перемещается при полностью поднятой тележке по монорельсу *9*, представляющему собой двутавровый путь. Предусмотрена возможность автоматического адресования электрогрузовоза с использованием стрелочных переводов и адресоносителей. После прибытия электрогрузовоза к месту назначения автоматически опускается тележка с пультом ручного управления, с помощью

которого осуществляется местное управление. Электрогрузовозы эффективны для автоматизации транспортных операций в серийном производстве и находят широкое использование в станкостроении.

Краны-штабелеры широко применяют для механизации и автоматизации разгрузочно-погрузочных работ на складах при стеллажном и многоярусном хранении заготовок, спутников (палет), деталей и комплектующих изделий в таре. Краны-штабелеры позволяют рационально использовать объем склада по высоте здания. Имеются примеры создания высотных автоматизированных складов, где высота стеллажей достигает 40 м. Для обслуживания высотных складов применяют скоростные краны-штабелеры (скорость передвижения составляет 140 м/мин, а скорость подъема тары 60 м/мин).

В ГПС для межоперационной передачи, а также для транспортной связи рабочих мест со складами используют напольные автоматизированные тележки и реже подвесные транспортные роботы.

Автоматизированные тележки могут быть рельсовые и безрельсовые. Управление безрельсовыми тележками осуществляют с помощью высокочастотного кабеля, проложенного в полу цеха по трассе движения, или используют оптический способ маршрутослежения по светоотражающей полосе.

Рельсовые тележки часто применяют для небольших ГПС обработки корпусных деталей (см. рис. 7.17, 7.18). На НПО Оргстанкинпром разработаны АТСС с использованием рельсовых кареток-операторов грузоподъемностью 500 и 1000 кг с двумя телескопическими столами и дистанционным управлением.

Из отечественных автоматизированных безрельсовых тележек известны: Электроника НЦ-ТМ-25 и НЦ-ТМ-15 завода "Элион" и МП-12Т, ЦНИИ РТК. Эти тележки имеют грузоподъемность от 200 до 500 кг, оснащены подъемной платформой (НЦ-ТМ-25) или манипуляторами для укладки тары на рабочее место и пред-

назначены для транспортирования заготовок и деталей в таре.

Скорость тележек зависит от способа маршрутослежения. При оптическом способе она не превышает 0,55 м/с, а при индуктивном 1,1 м/с.

Подвесные транспортные роботы являются развитием электрогрузовозов и на их основе создают автоматические транспортные подвесные системы (АТНС) типа АТНС-10 с управлением от мини-ЭВМ. Количество транспортных средств периодического действия определяют исходя из машиноемкости $T_{\text{ме}}$ транспортных операций, которую вычисляют по формуле

$$T_{\text{ме}} = \frac{Q\bar{t}_{\text{т}} n_{\text{т.о}}}{60\bar{q}_{\text{п}}}, \quad \text{или} \quad T_{\text{ме}} = \frac{Z_{\text{т}}\bar{t}_{\text{т}} n_{\text{т.о}}}{60\bar{Z}_{\text{т.п}}},$$

где Q, $Z_{\text{т}}$ – грузопоток, т.е масса годового объема выпуска заготовок, деталей и изделий, перемещаемых данным видом транспорта, т и ед. тары соответственно; $\bar{t}_{\text{т}}$ – средняя продолжительность цикла перемещения, мин; $n_{\text{т.о}}$ – среднее число транспортных операций на одну деталь (для межоперационного транспорта равно среднему числу операций обработки на участке); $\bar{q}_{\text{п}}$ и $\bar{Z}_{\text{т.п}}$ – средняя величина транспортной партии, т и ед. тары соответственно.

Количество транспортных средств определяют по формуле

$$F_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{ме}} K_{\text{сп}}}{\Phi_0 K_{\text{з}}},$$

где $K_{\text{сп}} = 1,2 \ldots 1,6$ – коэффициент спроса, учитывающий неравномерность поступления требований (заявок) на обслуживание в единицу времени; Φ_0 – эффективный годовой фонд времени транспортного устройства; $K_{\text{з}} = 0,3 \ldots 0,8$ – коэффициент его загрузки.

При постоянных грузопотоках в цехах поточно-массового и поточно-серийного производства для межоперационного перемещения обрабатываемых заготовок и собираемых изделий широко применяют конвейеры различных типов (рис. 7.25).

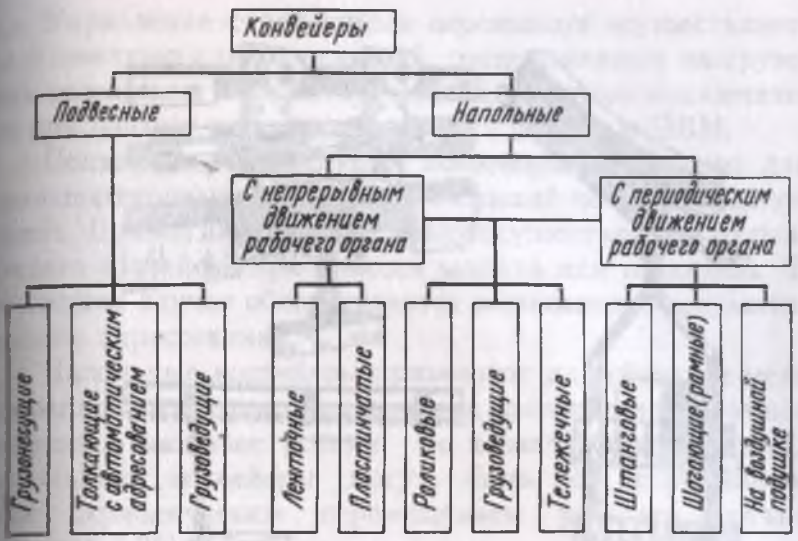


Рис. 7.25. Конструктивные разновидности конвейеров

Подвесные конвейеры (рис. 7.26) имеют три конструктивных разновидности: грузонесущие, толкающие и грузоведущие. Основными достоинствами подвесных конвейеров является их гибкость как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, что обуславливает возможность перемещения собираемых изделий с этажа на этаж. Для размещения подвесных конвейеров не требуется дополнительной производственной площади, а их большая протяженность обуславливает возможность использования этих конвейеров не только в качестве межоперационного транспорта, но и для межцехового, межкорпусного транспортирования грузов. В конструкциях этих конвейеров тяговый орган цепь соединена с каретками, перемещающимися по постоянной трассе подвесных путей. К кареткам крепятся подвески для транспортирования грузов.

Подвесные толкающие конвейеры отличаются от грузонесущих тем, что грузовая каретка не соединена непосредственно с тяговой цепью и перемещается по отдельному (нижнему) пути. Привод грузовых тележек осу-

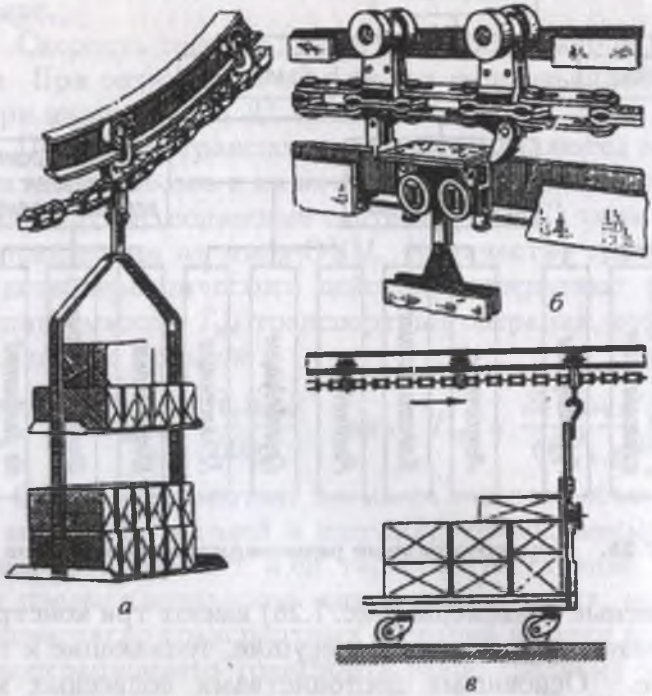


Рис. 7.26. Типы подвесных конвейеров:
а – грузонесущие; *б* – толкающие; *в* – грузоведущие

ществляется толкателями, связанными с тяговой цепью. Опорные ролики толкателей и тяговой цепи перемещаются по верхнему пути.

Благодаря этому представляется возможным автоматический перевод грузовой каретки с одного участка конвейера на другой и обратно с помощью стрелочных переводов, использовать отдельные участки конвейера в качестве накопителей (подвесных складов), а также осуществлять передачу тележек с одной высоты на другую с помощью опускных и подъемных секций. С помощью опускных секций, например, подают собираемые узлы на напольный конвейер.

Управление стрелочными переводами осуществляется с помощью адресоносителей, расположенных на грузовых тележках и воздействующих на конечные выключатели при подходе к стрелке, а также с помощью ЭВМ.

Подвесные грузоведущие конвейеры применяют для транспортирования собираемых изделий на напольной тележке. Привод напольной тележки осуществляется от подвесного конвейера при помощи захвата или толкателя. В последнем случае обеспечивается возможность автоматического адресования.

Напольные конвейеры применяют для сборки и межоперационного транспортирования самых разнообразных изделий в машиностроении. По характеру перемещения напольные конвейеры могут быть с непрерывным или периодическим перемещением рабочего органа (см. рис. 7.25).

Ленточные конвейеры используют при сборке легких и мелких изделий для межоперационной передачи. Скорость ленточных конвейеров составляет 6...30 м/мин.

Пластинчатые конвейеры применяют для сборки тяжелых изделий, не требующих специального базирования. Несущая часть их между приводными цепями покрыта металлическими пластинами. Длина пластинчатых конвейеров достигает 200 м при ширине настила от 400 до 1600 мм и скорости 1...5 м/мин. Эти конвейеры выполняются вертикально-замкнутыми, при этом рабочая часть располагается на уровне пола (общая сборка автомобиля) или выше него (сборка мелких и средних изделий), а холостая ветвь находится в траншее ниже уровня пола.

Роликовые конвейеры (рольганги) широко применяют для межоперационного транспортирования в сборочных и механических цехах. Они могут быть неприводные и приводные. Их часто используют также в качестве накопителей.

Грузоведущие напольные конвейеры могут быть непрерывно или периодически движущимися. Их используют для сборки крупных изделий, имеющих собственно хо-

довую часть или располагаемых на транспортных тележках. Изделия или тележки с помощью захватов присоединяют к цепному транспортеру, располагаемому в траншее ниже уровня пола.

Тележечные конвейеры получили очень широкое применение для сборки и испытания узлов и изделий средних размеров. Тележки представляют собой приспособления для закрепления при сборке базовых деталей. Привод тележек осуществляется при помощи замкнутой тяговой цепи. Тележечные конвейеры могут быть вертикально- или горизонтально-замкнутыми.

Штанговые конвейеры используют для перемещения спутников АЛ. Захват спутников и их перемещение на шаг осуществляют с помощью штанги с собачками. При обратном ходе штанги подпружиненные собачки утапливаются, а затем снова занимают рабочее положение.

Рамные шагающие конвейеры получили распространение для сборки станков. Собираемые станки при этом устанавливают на плитах, размещенных в полу цеха. Движущимся элементом конвейера является жесткая рама, размещенная между опорными плитами. Для перемещения собираемых изделий на следующие позиции сборки рама с помощью гидравлических домкратов поднимается, приподнимая станину станка на 10 . . . 15 см, затем с помощью привода продольного перемещения перемещается на величину шага и опускается. В результате этого собираемые станки устанавливают на последующие сборочные позиции. Затем опущенная рама возвращается в исходное положение.

В последние годы для сборки станков и некоторых других изделий стали применять платформы на воздушной подушке. Грузоподъемность подобных платформ, разработанных НПО Оргстанкинпром, до 5 т, рабочее давление воздуха 0,4 МПа. Сборка изделий производится при отключенной пневмосистеме, которая включается в момент перемещения изделия. Перемещать изделия можно вручную или с помощью грузоведущего конвейера.

7.5.2. Система инструментообеспечения

Задачами системы инструментообеспечения являются учет, хранение и ремонт режущего, измерительного и вспомогательного инструмента, восстановление режущих свойств инструмента, сборка, настройка и комплектование инструментов для станков с ЧПУ. Для решения указанных задач в структуре цеха или корпуса предусматривают заточное отделение, отделение ремонта приспособлений и инструментов, инструментально-раздаточный склад или кладовые соответствующих видов инструментов, а для ГПС и цехов с большим числом станков с ЧПУ дополнительно *участок инструментальной подготовки для станков с ЧПУ*, состоящий из секций обслуживания инструментом и секции сборки и настройки инструмента.

Секция обслуживания инструментом включает зону хранения и комплектования инструмента и технической документации, зону доставки инструмента к рабочим местам и разборки отработанного инструмента. Секция сборки и настройки инструмента обеспечивает его сборку, измерение и настройку на заданный размер, после чего он возвращается в секцию обслуживания инструментом.

Участок инструментальной подготовки для станков с ЧПУ оснащают приборами для настройки инструмента, контрольными плитами, стеллажами для хранения инструмента, технической документации и программоносителей, инструментальными шкафами, верстаками для сборки и разборки, приемными столами и тележками для транспортирования комплектов инструментов к станкам и обратно.

Число приборов H для настройки инструментов зависит от типа и числа станков с ЧПУ $C_{\text{п}}$. Так, для обслуживания токарных станков $H = 0,07C_{\text{п}}$, а для станков сверлильно-фрезерно-расточной группы H равно $0,05C_{\text{п}}$; $0,1C_{\text{п}}$ и $0,2C_{\text{п}}$ при емкости магазина инструментов до 20, 20 ... 50 и более 50 инструментов соответственно.

Площадь секций сборки и настройки определяют по норме 6 м^2 на одно рабочее место слесаря-инструментальщика по настройке инструмента.

Площадь секции обслуживания инструментом устанавливают исходя из следующего: для зоны хранения и комплектования инструментов норма составляет $1,2 \ldots 2,2$ м^2, а для технической документации 0,3 м^2 на один станок с ЧПУ.

Заточное отделение предусматривают в составе цеха при числе производственных станков не менее 200. Число станков заточного отделения при укрупненном способе проектирования принимают в количестве 5 % от числа обслуживаемых производственных станков общего назначения (токарных, фрезерных, расточных и др.) и 10 % от числа производственных станков, оснащенных специальным инструментом (зубофрезерные, зубострогальные, протяжные и др.).

При детальном проектировании расчетным путем, используя данные о продолжительности резания и стойкости, определяют количество переточек инструментов по каждому виду в течение года и станкоемкость соответствующих заточных работ. Далее по известной станкоемкости заточки определяют потребное число заточных станков, их модели, количество рабочих и на основании планировки оборудования потребную площадь. Удельная площадь на один станок заточного отделения составляет $8 \ldots 14$ м^2.

Число станков на *участке* (*отделении*) *по ремонту инструмента и оснастки* при указанном способе расчета принимают равным $1,4 \ldots 4$ % от числа производственных станков. Площадь участка с учетом рабочих мест для выполнения слесарных работ и кладовой запасных частей определяют по норме $17 \ldots 22$ м^2 на один станок участка.

Инструментально-раздаточные кладовые обеспечивают снабжение рабочих мест всеми видами инструмента, а при непоточном производстве еще и приспособлениями. Нормы их площади зависят от типа производства и со-

ставляют для кладовой инструментальной оснастки, обеспечивающей хранение всех видов инструментов и приспособлений, в условиях единичного и мелкосерийного типов производства $1,3 \ldots 2,6$ м^2, а в условиях массового производства $0,35 \ldots 0,5$ м^2 на один металлорежущий станок. Площадь кладовой абразивов определяют по норме $0,4 \ldots 0,5$ м^2 на один шлифовальный, доводочный или полировальный станок.

7.5.3. Система ремонтного и технического обслуживания механосборочного производства

Систему ремонтного и технического обслуживания механосборочного производства предусматривают для обеспечения работоспособности технологического, подъемно-транспортного оборудования и других технических средств производства, удаления и переработки стружки, обеспечения рабочих мест охлаждающими жидкостями, электроэнергией, сжатым воздухом и создания необходимого микроклимата и чистоты воздушной среды цеха.

Предпочтение отдают централизации указанных служб в масштабах корпуса с созданием отделений корпусного подчинения для ремонтного и технического обслуживания нескольких цехов. Это способствует сокращению материальных и трудовых затрат.

Цеховая ремонтная база (ЦРБ)

Основные задачи ремонтной службы: уход и надзор за действующим оборудованием, планово-предупредительный ремонт всех видов технических средств, а также модернизация существующего и изготовление нестандартного оборудования. Указанные работы выполняют ремонтно-механический цех завода, а также корпусные (цеховые) ремонтные базы и отделения по ремонту электрооборудования и электронных систем.

На крупных заводах массового производства применяют децентрализованную форму организации ремонтных

работ, при которой все виды ремонта оборудования выполняют корпусные (цеховые) ремонтные базы. Ремонтно-механический цех завода занимается изготовлением нестандартного оборудования и запасных частей.

На малых заводах применяют централизованную форму организации ремонтного обслуживания, когда все виды ремонта выполняют в ремонтно-механическом цехе, а служба цехового механика занимается межремонтным обслуживанием оборудования.

На заводах средних размеров применяют смешанную форму организации ремонтных работ: капитальный ремонт выполняется ремонтно-механическим цехом, а остальные виды ремонта – цеховыми базами.

В нашей стране разработана и внедрена планово-предупредительная система ремонта, которая определяет периодичность ремонтных работ и позволяет проводить их в плановом порядке.

Число основных станков цеховой ремонтной базы $C_{\text{р.б}}$ определяют в зависимости от числа единиц $C_{\text{ед}}$ обслуживаемого технологического и подъемно-транспортного оборудования по формуле $C_{\text{р.б}} = (0,02 \ldots 0,026)\, C_{\text{ед}}$, причем меньшее соотношение принимают при $C_{\text{ед}} = 300$, а большее – при $C_{\text{ед}} = 5000$ и более. При количестве основного оборудования ЦРБ более 14 единиц предусматривают дополнительное оборудование – приводные ножовки, шлифовальные станки с гибким валом, центровочный станок, гидравлические и ручные прессы, наждаки, сварочные трансформаторы, настольно-сверлильный станок, в количестве от 10 до 23 единиц.

Площадь цеховой ремонтной базы определяют по норме $22 \ldots 28$ м^2 на один основной станок. Дополнительно $20 \ldots 30$ % от площади ЦРБ выделяют для склада запасных частей.

Отделение по ремонту электрооборудования и электронных систем предназначено для периодического осмотра и ремонта электродвигателей, устройств электроавтоматики и электронных систем ЧПУ. Площадь от-

деления составляет 35...40 % от площади цеховой ремонтной базы. При наличии автоматизированных участков и ГПС на основе оборудования с ЧПУ целесообразно создание комплексных ремонтных бригад, куда входят слесари-ремонтники, электромонтеры и наладчики устройств ЧПУ.

Подсистема удаления и переработки стружки

При выборе способов удаления и переработки стружки ее количество определяют как разницу между массой заготовок и готовых деталей. Для облегчения транспортирования длина спирального витка стружки должна быть не более 200 мм, а его диаметр – не более 25...30 мм.

Техническое решение по организации сбора и транспортирования стружки зависит от годового количества стружки, образованного на 1 м^2 площади цеха. Критерием оценки выбранного варианта являются минимальные приведенные затраты на годовой выпуск. Исходя из опыта проектирования можно привести следующие рекомендации.

При количестве стружки до 0,3 т/м^2 в год ее целесообразно собирать в специальные емкости у станков и доставлять к месту сбора или переработки напольным транспортом. В ГПС для этой цели используют транспортные роботы. Указанный способ транспортирования всегда применяют, когда на участке обрабатывают заготовки из разнородных материалов.

При количестве стружки от 0,3...0,65 т/м^2 в год предусматривают линейные конвейеры вдоль станочных линий со специальной тарой в приямке на подъемнике. Заполненную стружкой тару вывозят на накопительную площадку или участок переработки.

При количестве стружки 0,65...1,2 т/м^2 в год и при общем ее количестве не менее 3000 т рекомендуется создавать систему линейных и магистральных конвейеров с выдачей стружки на накопительную площадку или бункерную эстакаду, расположенную за пределами цеха, для погрузки в автосамосвалы.

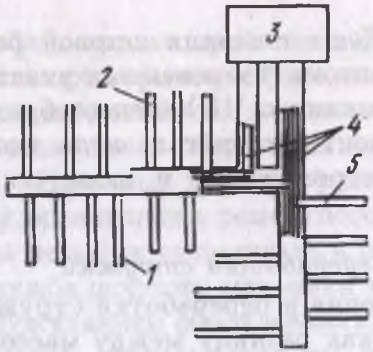


Рис. 7.27. Схема комплексно-автоматизированной системы сбора и удаления стружки:
1, 2, 5 – линейные конвейеры соответственно для алюминиевой, стальной и чугунной стружки; *3* – отделение сбора и переработки стружки; *4* – магистральные конвейеры

Для крупных цехов при количестве стружки на 1 м^2 площади цеха более 1,2 т/м^2 в год, а на общей площади более 5000 т/м^2 экономически целесообразно создавать комплексно-автоматизированную систему линейных и магистральных конвейеров с выдачей стружки в отделение переработки (рис. 7.27). Рекомендации по выбору типа стружкоуборочных конвейеров даны в табл. 7.12.

Таблица 7.12. **Конструктивные разновидности конвейеров для стружки**

Вид стружки	Линейные конвейеры		Магистральные конвейеры	
	Вид	Ширина, мм	Вид	Ширина, мм
Стальная	Пластинчатый, винтовой, с бегущим магнитным полем	400–500	Пластинчатый	800
Чугунная	Скребковый	180–500	Скребковый, ленточный	800
Алюминиевая	С гидросмывом	250–450	Пластинчатый	600

Линейные конвейеры размещают в каналах глубиной 600 . . . 700 мм, а магистральные – в проходных тоннелях глубиной до 3000 мм.

Для размещения станочных участков необходимо группировать линии по видам обрабатываемых материалов, располагая линейные конвейеры с тыльной стороны

линий. При этом один конвейер обслуживает две технологические линии. Учитывая сложность транспортирования витой стружки, целесообразно приближать участки оборудования с образованием витой стружки к отделению переработки стружки.

В процессе переработки витая стружка подвергается дроблению. Все виды стружки с остатками масел и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) подвергают обезжириванию. Для этого на центрифугах отделяют СОЖ, а затем промывают стружку горячей водой или щелочными растворами в специальных моечных машинах или подвергают обжигу, где органические примеси испаряются и выгорают.

Алюминиевую стружку дополнительно подвергают магнитной сепарации для удаления из нее стружки черных металлов.

Лучшим способом подготовки стружки для вторичной переработки является брикетирование. Для этого используют специальные горизонтальные брикет-прессы, на которых стружку прессуют в брикеты цилиндрической формы диаметром 140 ... 180 мм, высотой 40 ... 100 мм и массой 5 ... 8 кг. Переработка с брикетированием в отделении цеха или корпуса экономически целесообразна при интенсивности образования стальной стружки 2,7 т/ч, чугунной 1,5 т/ч и алюминиевой 0,5 т/ч. Цеховые отделения сбора и переработки стружки размещают у наружной стены здания вблизи от выезда из цеха; часто их располагают в подвальных помещениях с устройством пандусов для выезда. Площадь отделения для сбора и переработки стружки $S_{\text{сп}} = (0,03 \ldots 0,04) S_{\text{пр}}$, где $S_{\text{пр}}$ – производственная площадь цеха.

Подсистема приготовления и раздачи охлаждающих жидкостей

В механических цехах применяют три способа снабжения станков СОЖ: централизованно-циркуляционный, централизованно-групповой и децентрализованный.

Централизованно-циркуляционный способ применяют для цехов с большим количеством станков, потребляющих жидкости ограниченных видов. Наиболее универсальной СОЖ, используемой при различных методах обработки деталей на разных материалах, является Укринол 1М. Использование водных растворов Укринол 1М создает предпосылки широкого внедрения централизованно-циркуляционного способа. В этом случае в состав системы входят центральная корпусная станция для приготовления, регенерации и утилизации СОЖ, несколько циркуляционных установок, обслуживающих по 70 ... 80 станков, и сеть трубопроводов для подачи жидкости к станкам и отвода ее в циркуляционную установку для фильтрации (рис. 7.28).

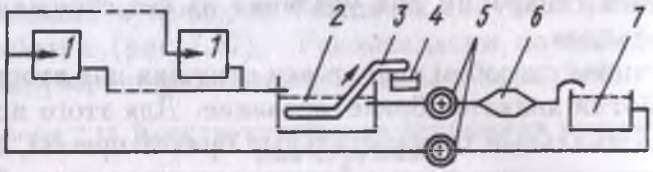


Рис. 7.28. Схема централизованно-циркуляционной системы снабжения станков охлаждающей жидкостью:
1 – станок; *2* – бак-отстойник; *3* – пластинчатый конвейер; *4* – приемник для шлама; *5* – насос; *6* – фильтр; *7* – бак для очищенной жидкости

Централизованно-групповой способ характеризуется тем, что СОЖ подают по трубопроводам из центральной установки к разборным кранам, установленным на участках. В процессе работы станка используется автономная система охлаждения станка, при которой СОЖ ежесуточно пополняется из разборных кранов для восполнения потерь вследствие ее разбрызгивания, уноса со стружкой и обработанной деталью. Способ применяют для цехов с большим количеством станков, использующих разнотипные СОЖ.

В небольших цехах распространена децентрализованная система снабжения, при которой жидкость из отделе-

ния СОЖ доставляют к станкам в таре и также удаляют отработанную жидкость.

В процессе работы происходит постепенное разложение и загрязнение СОЖ. Периодичность общей замены СОЖ зависит от ее состава и свойств, режима работы станков, периодичности долива. Однако чем больше общий объем системы, тем больше срок службы жидкости, поэтому при централизованно-циркуляционном способе обеспечивается наибольшая продолжительность работы без замены СОЖ.

При разработке проекта технолог-проектант должен выдать задание на проектирование подсистемы приготовления и раздачи СОЖ, которое включает планировку оборудования цеха с указанием вида и расхода жидкостей для каждого из станков, предусмотрев место для групповых циркуляционных установок.

Для шлифовальных, хонинговальных и некоторых других станков предусматривают отдельные автономные фильтрующие установки, часто занимающие бóльшие площади, чем сами станки. В состав системы подачи СОЖ на современных многоцелевых станках включают специальные гидроциклонные фильтровальные установки очистки охлаждающей жидкости от абразива, что связано с применением шлифования наряду с лезвийной обработкой.

Площадь отделения для приготовления и раздачи СОЖ составляет $40 \ldots 120\,м^2$ при числе станков соответственно $50 \ldots 400$. Емкости для сбора и фильтрации охлаждающих жидкостей размещают часто в подвалах и тоннелях. Площадь склада масел определяют из расчета $0,1 \ldots 0,12\,м^2$ на один обслуживаемый станок.

Учитывая пожарную безопасность, отделение приготовления и раздачи СОЖ и склад масел располагают у наружной стены здания с отдельным выходом наружу. В отделении предусматривают подвод воды, пара для подогрева и стерилизации, а также сжатого воздуха для перемешивания растворов.

Подсистема электроснабжения, снабжения сжатым воздухом, обеспечения микроклимата и необходимой чистоты воздушной среды

Промышленные предприятия обеспечиваются электроэнергией от высоковольтных линий передач напряжением 110 кВ. Для понижения напряжения до рабочего значения используют следующий каскад: открытая понизительная станция 110/35 кВ, открытые центральные распределительные подстанции 35/10 ... 6 кВ и цеховые закрытые трансформаторные подстанции 6 ... 10/0,4 кВ. Обычно предусматривают по одной подстанции на каждые 5000 м^2 производственной площади, размещая их через 75 ... 100 м одну от другой. Подстанции следует приближать к основным потребителям электроэнергии для уменьшения потерь в сети. Площадь трансформаторных подстанций составляет 50 м^2. Для монтажа и ремонта трансформаторов необходимо предусматривать монорельсы или мостовые краны грузоподъемностью до 10 т.

В современном производстве широко используют автономный электротранспорт – электрокары и транспортные роботы. Они относятся к экологически чистому транспорту, поскольку их питание осуществляется от аккумуляторных батарей. Для их подзарядки предусматривают аккумуляторные помещения, которые следует размещать в изолированных помещениях с приточно-вытяжной вентиляцией, так как при зарядке батарей происходит выделение вредных для здоровья человека аэрозолей.

Для проектирования электроснабжения технолог-проектант выдает задание, включающее планировку оборудования цеха с указанием мест подвода электроэнергии, а также ведомость потребителей по участкам, размещенным в корпусе. На основании этих данных определяют потребность в электроэнергии для работы оборудования и освещения.

В механосборочном производстве широко используют сжатый воздух для приводов пневматических зажимных устройств, механизированного сборочного инструмента, в

системах пневмоавтоматики, для окраски и других целей. Давление сжатого воздуха в сети предусматривают равным $0,5 \ldots 0,6$ МПа. Общий расход сжатого воздуха определяют по нормам с учетом общего количества пневмоустройств, коэффициентов одновременной работы и использования.

При укрупненных расчетах площадь, необходимую для размещения компрессорных установок, принимают равной $S_{\text{к}} = (0,006 \ldots 0,008) S_{\text{пр}}$.

Компрессорные станции проектируют из нескольких однотипных компрессоров, а их производительность рассчитывают таким образом, чтобы остановка одного компрессора не вызывала бы остановки производства. Компрессорные станции размещают в изолированных помещениях вследствие высокого уровня шума.

Для обеспечения микроклимата и чистоты воздушной среды цехи оборудуют приточно-вытяжной вентиляцией. Источники интенсивных выделений абразивной пыли при шлифовании, паров при мойке, аэрозолей при окраске и другие стремятся локализовать путем устройства местных отсосов. Загрязненный воздух перед выбросом в атмосферу очищают с помощью фильтров или специальных устройств. Места выброса воздуха из вытяжных систем необходимо располагать с подветренной стороны здания как можно дальше от мест забора воздуха для приточной вентиляции.

В пролетах цехов механосборочного производства устанавливают светоаэрационные фонари для естественного освещения и проветривания. Для этой цели фрамуги фонарей оборудуют дистанционными устройствами для открывания. Однако в крупных корпусах этого оказывается недостаточно, поэтому подачу свежего воздуха осуществляют с помощью общекорпусных вентиляционных систем. Их размещают в планировочных вставках, а в небольших корпусах вентиляционные камеры располагают в подвалах или изолированных помещениях у наружной стены. Необходимо также учитывать, что для привода

вентиляторов используют мощные электродвигатели, поэтому вентиляционные камеры следует устанавливать недалеко от трансформаторных подстанций для уменьшения электрических потерь. Для подогрева воздуха в холодное время года предусматривают калориферы. Равномерную подачу свежего воздуха в разные части корпуса обеспечивают соответствующей разводкой воздуховодов, используя для этого часто межферменное пространство.

Вентиляционные системы проектируют специалисты по санитарно-технической части проекта, задачей технолога-проектанта является составление задания на проектирование, которое включает планировку цеха с поперечными разрезами и характеристику источников вредных выделений в производственном процессе.

Общая площадь под вентиляционные камеры составляет примерно $S_{\text{в.к}} = (0,05 \ldots 0,075) S_{\text{пр}}$. В термоконстантных цехах предусматривают систему кондиционирования и обеспыливания воздуха для поддержания параметров микроклимата в заданных пределах. Помещение для кондиционеров предусматривают рядом с термостатированным помещением.

7.6. СИНТЕЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

7.6.1. Компоновка производственной системы

При проектировании нового цеха большое значение имеет выбор типа производственного здания, его компоновки и размеров в плане. При реконструкции и техническом перевооружении производства возникает задача наилучшего использования имеющихся производственных зданий для размещения новых участков и цехов. Стоимость производственных зданий в машиностроении довольно высока и достигает 30 ... 40 % стоимости основных фондов предприятий.

Объемно-планировочные решения производственных зданий могут быть разнообразными. Для цехов механо-

сборочного производства применяют одно- и многоэтажные здания, со светоаэрационными фонарями и без них, крановые (оборудованные мостовыми кранами) и бескрановые здания с использованием напольного и подвесного транспорта. По форме в плане здания обычно проектируют прямоугольными, однако в отдельных случаях применяют Г-, П- или Ш-образные здания. Это связано обычно с конкретными условиями территории завода или стремлением зарезервировать площадь для дальнейшего расширения цехов путем пристройки дополнительных пролетов.

При проектировании производственных зданий наиболее широкое применение получили каркасные здания с использованием унифицированных железобетонных строительных элементов заводского изготовления. Для ускорения и удешевления строительного проектирования разработаны унифицированные типовые секции, представляющие собой объемную часть здания и состоящие из одного или нескольких пролетов одинаковой длины.

Это позволяет разместить в одном здании несколько цехов, если это не противоречит условиям производства и противопожарным требованиям. Блокирование нескольких цехов в одном здании способствует сокращению коммуникаций и транспортных расходов.

При оформлении компоновочных планов здание в плане показывают в виде сетки продольных и поперечных разбивочных осей, как это показано на рис. 7.5. При этом продольные разбивочные оси, образующие пролеты здания, обозначают заглавными буквами русского алфавита, а поперечные – арабскими цифрами.

Для проектирования производственных зданий разработан типаж основных и дополнительных унифицированных секций. Размеры основных секций в плане составляют 72 × 72 м или 72 × 144 м, причем первый размер соответствует длине пролета, второй – ширине секции. Основные секции могут быть крановыми и бескрановыми, с сеткой колонн 18 × 12 м или 24 × 12 м при высоте пролета 6; 7,2 или 8,4 м для бескрановых и 10,8 или 12,6 м для крановых

зданий. Площадь основных секций составляет 5184 м^2 или 10368 м^2. Помимо основных предусмотрены дополнительные одно- или двухпролетные секции длиной 72 м, оборудованные кранами с высотой пролета 10,8; 12,6; 16,2 или 18 м. Эти пролеты имеют ширину 24 или 30 м и предназначаются для размещения производства крупных изделий. На рис. 7.29 даны разрезы бескрановых и крановых пролетов производственных зданий, а также пристройки для размещения административных и бытовых помещений.

Здания без светоаэрационных фонарей с подвесным потолком (см. рис. 7.29, *в*) применяют для термоконстантных цехов. В межферменном пространстве при этом располагают воздуховоды и фильтры для систем кондиционирования. Административно-технические службы и бытовые помещения цехов размещают в пристройках к производственным зданиям (см. рис. 7.29, *г*) или в отдельно стоящих зданиях. В последнем случае предусматривают утепленные переходы в производственные корпуса. При детальной разработке строительной части проекта расчет площади административно-бытовых помещений ведут по соответствующим нормам для всех категорий работающих. При укрупненных расчетах для принятия компоновочных решений общая площадь этих помещений может быть определена по норме 5...6 м^2 на одного списочного работающего, а площадь отдельных помещений по следующим нормам, м^2: 2,86 для санитарно-гигиенических (гардеробно-душевые блоки, туалеты и др.); 1 для служебных; 0,7 для пунктов общественного питания; 0,4 для объектов культурно-массового обслуживания и 0,08 для медицинских помещений на одного работающего.

Для пристроек и отдельно стоящих административно-бытовых зданий применяют унифицированные типовые секции с сеткой колонн 6 × 6 м. Ширина пристроек 12 м, а отдельно стоящих зданий 18 м. В зависимости от конкретных условий пристройка может располагаться с торцевой части здания или вдоль крайнего пролета. Первый вариант применяют чаще.

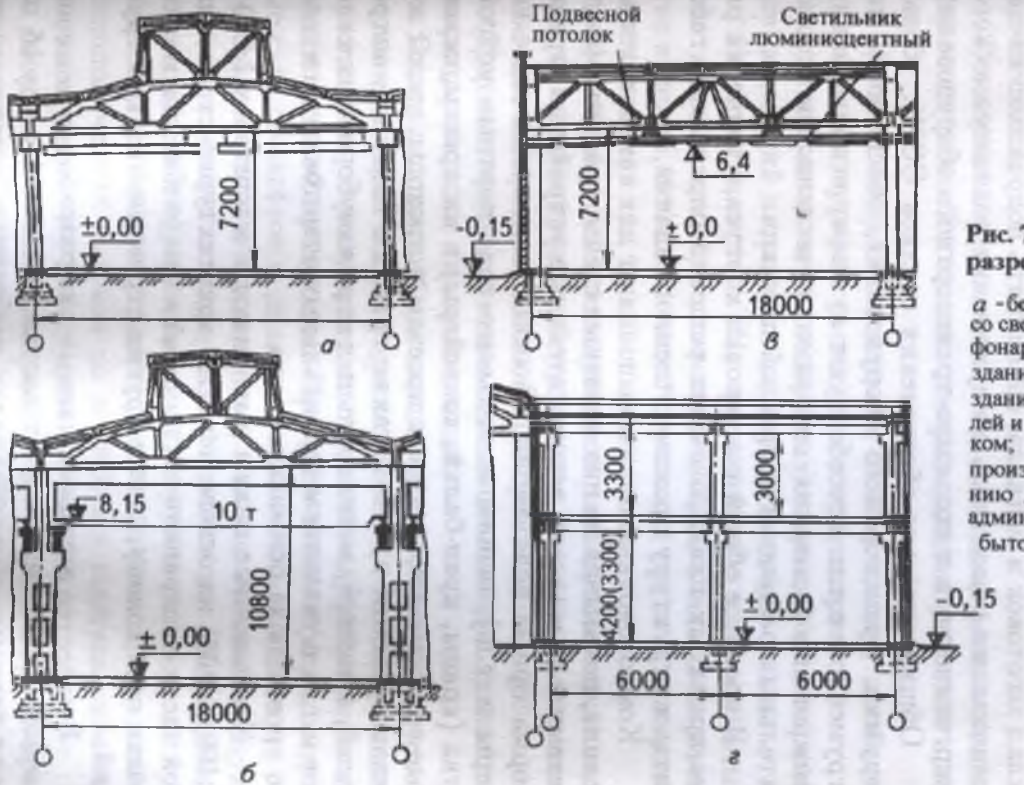


Рис. 7.29. Поперечные разрезы зданий:

а - бескрановое здание со светоаэрационным фонарем; *б* - крановое здание; *в* - бескрановое здание с плоской кровлей и подвесным потолком; *г* - пристройка к производственному зданию для размещения административных и бытовых помещений

При выборе компоновки здания следует исходить из данных об общей площади цехов, принятого варианта их взаимного размещения, а также необходимости организации вспомогательных служб для их технического и хозяйственного обслуживания. При объединении вспомогательных служб целесообразно создавать общий корпусной склад заготовок и металла, объединять подразделения для организации ремонтного обслуживания технологического, энергетического и подъемно-транспортного оборудования.

Общие системы обеспечения станков СОЖ, уборки стружки, транспортного оборудования, обеспечения инструментом и т.п. способствуют лучшему использованию сложного оборудования, сокращению численности вспомогательных рабочих и потребной площади.

В процессе общей компоновки корпуса, уточнения ранее принятых планировочных решений определяют габариты и структуру производственного здания.

Компоновочные планы выполняют для каждого этажа здания, показывая на них основные стены, границы между цехами и участками, вспомогательные устройства (трансформаторные подстанции, насосные вентиляционные камеры и т.д.), основные подъемно-транспортные устройства (краны, кран-балки, конвейеры) и их трассы, основные грузопотоки, основные проезды и проходы, вводы железнодорожных путей, а также границы подвалов, антресолей, тоннелей, магистральных стружкоуборочных каналов и т.д. с указанием вертикальных отметок относительно уровня пола основного этажа.

Компоночные планы выполняют в масштабах 1:200 и 1:400 (1:800) на основе чертежа архитектурно-строительной части с сохранением принятой в нем разбивки и маркировки осей колонн, стен и других строительных конструкций.

В качестве исходных данных для разработки компоновочного плана используют состав отделений и служб цехов с данными об их площадях, выбранную ранее компоновочную схему, определяющую общую последовательность

производственного процесса, а также основные параметры и общую компоновку здания.

Основными принципами, определяющими выбор компоновки цехов являются:

1) обеспечение прямоточности производственного процесса, исключение, по возможности, возвратных движений грузопотоков;

2) компактность, т.е. использование минимальной производственной площади для размещения участков и цехов;

3) обеспечение возможности использования наиболее экономичных прогрессивных видов транспорта;

4) минимизация транспортных операций для перемещения изделий в процессе их производства;

5) совместимость ТП, размещаемых на смежных участках или цехах, с учетом взаимного влияния на качество изделий, а также исходя из условий труда и пожарной безопасности;

6) возможность последующего расширения производства и перепланировки оборудования, связанных с изменением или внедрением новых ТП и производств;

7) использование рациональных компоновок зданий из унифицированных типовых секций.

Главным при выборе компоновочной схемы является обеспечение кратчайшего пути основных технологических грузопотоков от получения заготовок и полуфабрикатов до выхода готовой продукции. При этом цеховые или корпусные склады заготовок должны располагаться в корпусе со стороны заготовительных цехов, а выход готовой продукции – со стороны склада готовой продукции. Подразделения технического, ремонтного и инструментального обслуживания, как правило, размещают в стороне от основных технологических потоков по периферии корпуса либо по границам цехов внутри крупных корпусов.

Между производственными участками обычно не предусматривают перегородок. Исключение составляют термоконстантные или пожароопасные производства. Разме-

щение каналов для транспортирования стружки, система энергетических разводок и подвода СОЖ должны обеспечивать возможность перестановки оборудования или его замены на новое при изменении объекта или технологии производства.

Границами производственных участков и цехов обычно являются продольные и поперечные проезды шириной 4,5...5,5 м. Расстояние между проездами не нормируют, оно определяется условиями рационального размещения поточных линий, предметно замкнутых или подетально специализированных участков. Длина участков обычно находится в пределах 35...50 м.

Компоновка неразрывно связана с принятой организационной формой производства. При этом одновременно формируют информационные потоки в производственной системе и определяют места расположения средств управления.

На рис. 7.30 дан компоновочный план типового проекта главного корпуса станкостроительного завода, рассчитанного на выпуск 4425 станков в год. Общая площадь корпуса без бытовых помещений 43 тыс. м^2. В одном корпусе сблокированы цехи подготовки заготовок, склады металла и заготовок, механические цехи с термоконстантным отделением, инструментальный, термические цехи, отделения и участки металлопокрытий и окраски, склады готовых деталей и комплектующих изделий, электромонтажный цех, сборочный цех, а также комплекс вспомогательных служб корпусного и цехового подчинения.

Литые и штампованные заготовки, а также прокат поступают с разгрузочной площадки, располагаемой параллельно пролетам и оборудованной козловыми кранами *1* и *2*. В зону разгрузочно-погрузочной площадки предусмотрен железнодорожный ввод. Литые заготовки подвергают очистке и обрубке, затем производят обдирку основных плоскостей. Далее заготовки передают электрифицированной тележкой в цех термической обработки для выполнения операций старения с целью снятия остаточных напря-

жений. После этого производят окраску необрабатываемых поверхностей в отделении окраски. Это необходимо для того, чтобы связать остатки формовочной смеси на поверхности заготовок и предотвратить возможность их попадания в дальнейшем на поверхности трения. Подготовленные отливки для обработки передают на склад литых заготовок.

Металлопрокат поступает на склад металла *I*, а далее в заготовительный цех для резки на штучные заготовки. Штучные заготовки, полученные резкой в заготовительном цехе или по кооперации, поступают на централизованный склад заготовок. Многоярусный стеллажный склад оборудован кран-штабелером *12*. Со склада заготовки партиями передают для обработки в механические цеха с помощью электрогрузовозов с автоматическим адресованием. В цехе крупных деталей межоперационную передачу осуществляют мостовым краном *4*. В цехах по производству средних и мелких деталей используют автоматизированные транспортно-накопительные системы. Стальные детали для термообработки напольным конвейером направляют в термический цех, после чего детали поступают на участок механического цеха.

Контрольные посты расположены в конце подетально-специализированных линий механической обработки.

Готовые детали и комплектующие изделия поступают далее на склад *XIV*. Для передачи готовых деталей на склад используют подвесные электрогрузовозы *21* с автоматическим адресованием, перемещающиеся по монорельсу.

Сборочное производство расположено в двух пролетах, перпендикулярных пролетам механических цехов. В пролете, примыкающему к складу готовых деталей, размещены участки узловой сборки и конвейер общей сборки серийных станков, а также электромонтажный цех и участок испытания станков. В следующем пролете находится сборочное отделение специальных станков, цех окраски и экспедиция.

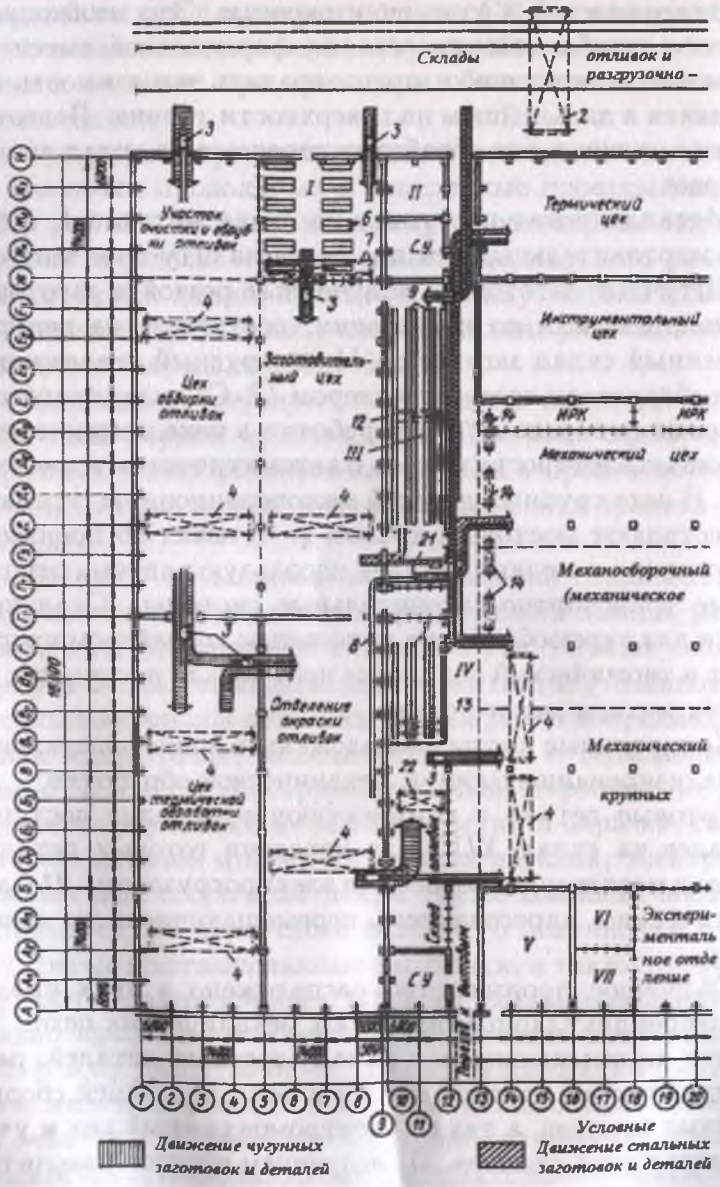
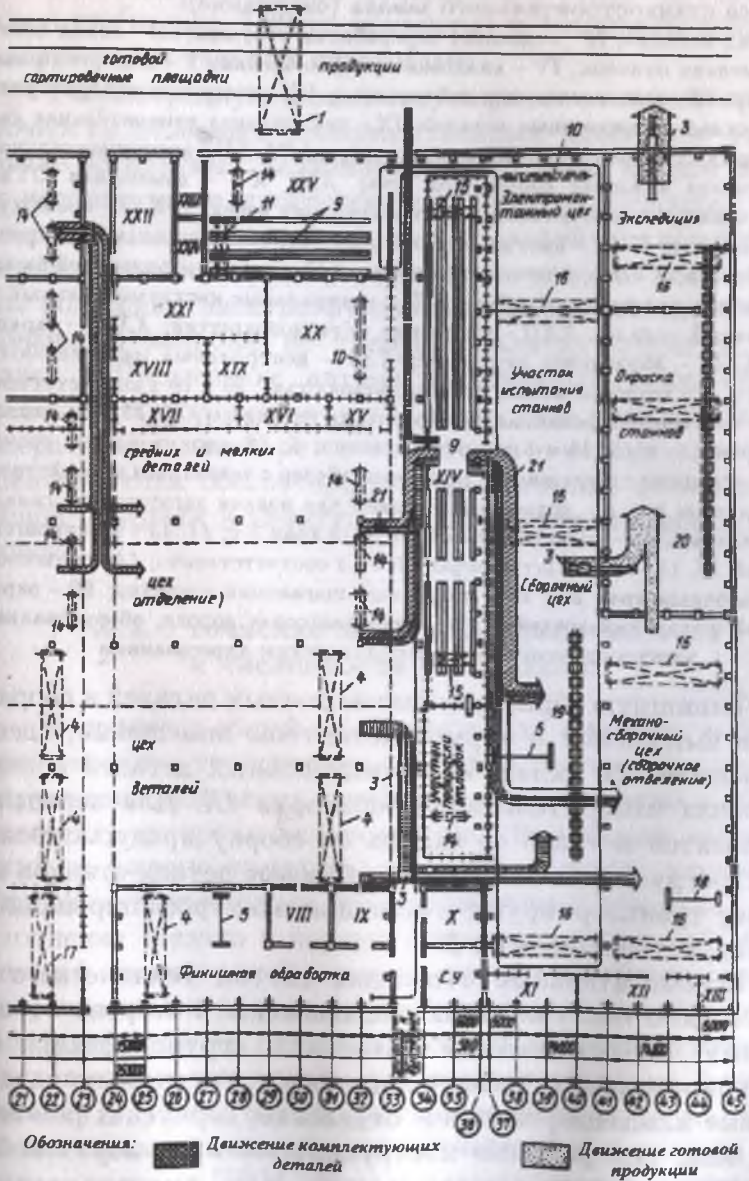


Рис. 7.30. Компоновочный план типового проекта



главного корпуса станкостроительного завода (начало):

Рис. 7.30. Компоновочный план типового проекта главного корпуса станкостроительного завода (окончание):
I – склад металла; *II* – отделение переработки стружки; *III* – склад поковок и мелких отливок; *IV* – кладовая приспособлений; *V* – компрессорная станция; *VI* – технологическая лаборатория; *VII* – станочная лаборатория; *VIII* – склад прецизионных деталей; *IX* – центральная измерительная лаборатория; *X* – помещение для кондиционеров; *XI, XII* – инструментально-раздаточная кладовая сборочного цеха; *XIII, XV* – помещения ОТК; *XIV* – склад готовых деталей и комплектующих изделий; *XVI* – промежуточный склад; *XVII* – инструментально-раздаточная кладовая цеха крупных деталей; *XVIII* – заточное отделение; *XIX* – кладовая ремонтной базы; *XX* – корпусная ремонтная база; *XXI* – центральные инструментальный и абразивный склады; *XXII* – отделение металлопокрытий; *XXIII* – зарядная; *XXIV* – абразивное отделение; *XXV* – центральный материальный склад; *1, 2* – козловые краны грузоподъемностью* 20 и 10 т соответственно; *3* – электрифицированная перегрузочная тележка; *4, 16, 17, 22* – мостовые краны 5, 20/5, 10 и 5 т соответственно; *5, 18* – полукозловые краны 1 т; *6* – елочные стеллажи; *7* – электроштабелер с захватным устройством для прутков 1 т; *8* – подвесной конвейер для подачи заготовок на склад; *9* – стеллажи; *10* – подвесной однобалочный кран 3 т; *11, 13* – электроштабелеры; *12, 15* – краны-штабелеры 0,5 и 1 т соответственно; *14* – подвесной однобалочный кран 2 т; *19* – сборочный шагающий конвейер; *20* – окрасочный шагающий конвейер; *21* – монорельсовая дорога, оборудованная электрогрузовозами с автоматическим адресованием

Финишную обработку высокоточных деталей и сборку узлов выполняют в термоконстантном помещении, здесь же расположен склад *VIII* прецизионных деталей и центральная измерительная лаборатория *IX*. Для передачи комплектов деталей со склада на сборку предусмотрены электрогрузовозы *21*. Тяжелые базовые детали станков на сборку транспортируют с помощью электрифицированной перегрузочной тележки *3*.

Вспомогательные отделения систем технического и ремонтного обслуживания расположены в стороне от основных технологических потоков и сгруппированы по функциональному назначению (инструментально-раздаточные кладовые, заточное отделение, корпусная ремонтная база, центральные инструментальный и абразивный склады и т.д.).

* Далее слово "грузоподъемность" опущено.

Бытовые помещения размещены в отдельно стоящих зданиях (на рис. 7.30 не показаны) и соединены с производственным зданием переходами.

Рассмотренную компоновку корпуса отличает прямоточность основных производственных процессов, отсутствие возвратных движений грузопотоков, компактность и использование прогрессивных видов транспорта. Как уже отмечалось выше, для всех операций межцеховой передачи мелких и средних заготовок и деталей использованы подвесные электрогрузовозы с автоматическим адресованием, которые не требуют наличия широких проездов. Применение автоматизированных транспортно-накопительных систем стеллажного типа с штабелерами-операторами или кареток-операторов с накопителями башенного типа обеспечивает автоматизацию межоперационной передачи и межоперационного складирования заготовок.

7.6.2. Уточнение планировки рабочих мест и численности работающих

В процессе общей компоновки цеха с учетом выбранного варианта транспортно-складской системы, систем инструментообеспечения, ремонтного и технического обслуживания, контроля качества изделий, а также мероприятий по охране труда работающих проводят уточнение планировки отдельных производственных участков. Это уточнение связано в первую очередь со стыковкой общецеховой транспортной системы цеха с устройствами межоперационной передачи на участках в процессе обработки. Для этой цели на производственных участках уточняют расположение зон приема заготовок и отправки готовых деталей и узлов, определяют расположение терминалов, обеспечивающих связь с диспетчерскими пунктами или управляющими ЭВМ. Чтобы увязать расположение оборудования смежных участков, планировку всего корпуса выполняют обычно в масштабе 1 : 200. В процессе общей

планировки уточняют взаимное размещение рядов станков, линейных и магистральных конвейеров для удаления стружки, определяют расположение приводных станций и емкостей для ее сбора, уточняют маршруты напольного транспорта, окончательно устанавливают трассы подвесного транспорта (подвесных конвейеров, монорельсов с автоматическими грузовозами, кран-балок и др.). При этом определяют высоту трасс на отдельных участках; намечают участки подъема и спуска с учетом расположения оборудования, проездов и складов; решают вопросы передачи деталей и узлов из одного пролета в другой; определяют места расположения рабочих мест мастеров; уточняют размещение межоперационных заделов, циркуляционных установок СОЖ, трансформаторных подстанций, вентиляционных камер и компрессорных станций. На основе общей планировки окончательно устанавливают площадь цеха и его подразделений.

Общую планировку цеха используют также для уточнения числа работающих. При этом окончательно определяют зоны многостаночного обслуживания основного и вспомогательного оборудования, количество рабочих, обслуживающих подъемно-транспортное оборудование и вспомогательные отделения. Окончательно устанавливают организационную структуру управления цехом и на основе этого уточняют общую численность работающих по группам, подразделениям и сменам. Результаты расчетов представляют в виде сводной ведомости работающих с указанием должностей, специальностей и разрядов.

7.6.3. Примеры планировочных решений производственных систем механосборочного производства

Рассмотрим характерные схемы планировок участков сборки и механической обработки в серийном производстве с использованием автоматизированных транспортно-накопительных систем.

На рис. 7.31 показана планировка части сборочного цеха завода шлифовальных станков. Сборочный цех размещен в двух пролетах шириной 18 м, оборудованных подвесной кран-балкой на участках узловой сборки и мостовым краном грузоподъемностью 10 т в отделении общего монтажа.

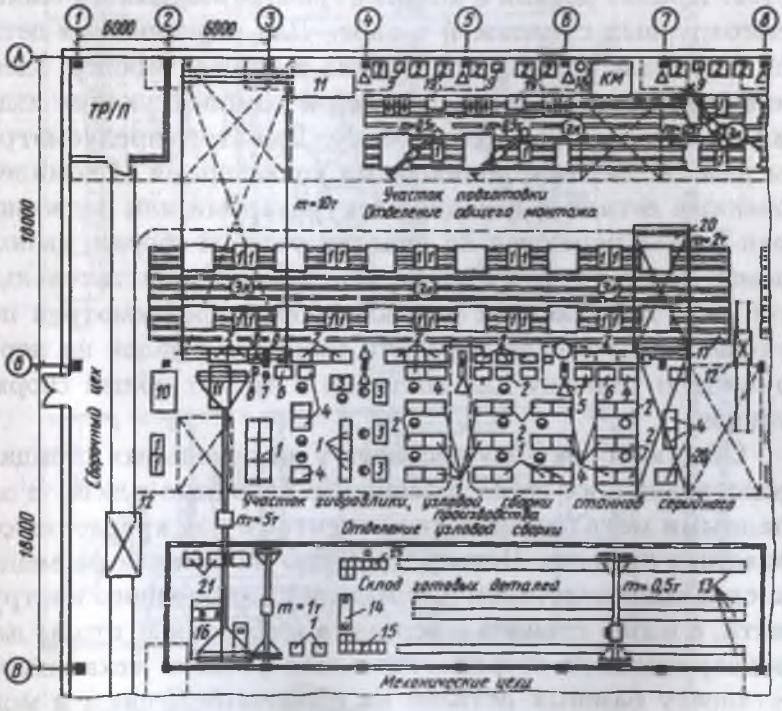


Рис. 7.31. Планировка оборудования и рабочих мест сборочного цеха шлифовальных станков:

1 – стеллажи, подставки; *2* – верстаки; *3* – стенды для испытания гидросистем; *4* – сборочные столы; *5* – пресс на верстаке; *6* – настольно-сверлильный станок на верстаке; *7* – нагревательная установка; *8* – поворотный стеллаж; *9* – шкаф наладчика; *10* – моечная машина; *11* – радиально-сверлильный станок; *12* – электрическая тележка; *13* – многоярусные стеллажи склада; *14* – рольганг; *15* – приемоотправочный стол; *16* – машина для консервации; *17* – панельный стенд; *18* – холодильная установка; *19* – контрольная плита; *20* – козловой кран; *21* – тара

Станины и другие крупные корпусные детали передают из механического цеха в сборочный с помощью электрической рельсовой тележки. Мелкие и средние детали доставляют на склад готовых деталей с помощью электрокаров в унифицированной таре, оборудованной специальными ложементами для высокоточных деталей (пинолей, шпинделей и др.). При необходимости их моют и консервируют. Хранят детали и комплектующие изделия в ячейках многоярусных стеллажей в таре. Для перемещения деталей на складе служат кран-балка и кран-штабелер; здесь же комплектуют партии деталей и комплектующих изделий перед отправкой их на сборку. Для этого предусмотрены рабочие места с роликовыми конвейерами. Скомплектованные детали и изделия электрокарами или подвесной кран-балкой передают на участки узловой сборки, выполняемой на сборочных столах, верстаках и испытательных стендах. На участках узловой сборки предусмотрен полукозловой кран для передачи собранных узлов на перегрузочную тележку для доставки в пролет общей сборки станков.

Общую сборку осуществляют на панельных стендах, представляющих собой массивные бетонные плиты с закладными металлическими элементами для крепления собираемых станков. Непосредственно на стендах размещены стеллажи-подставки для изделий и сборочного инструмента, а вдоль стендов – верстаки и сборочные столы для предварительной сборки отдельных узлов и механизмов. Установку базовых деталей на сборочные стенды и монтаж крупных узлов осуществляют мостовыми или козловыми кранами, перемещающимися вдоль пролета, а также консольно-поворотными кранами непосредственно у рабочих мест.

На рис. 7.32 показана планировка участка обработки тел вращения с использованием автоматизированной транспортно-складской системы. Проект участка разработан в НПО Оргстанкинпром и включает 38 станков, в том числе 24 станка с ЧПУ, расположенных в два ряда

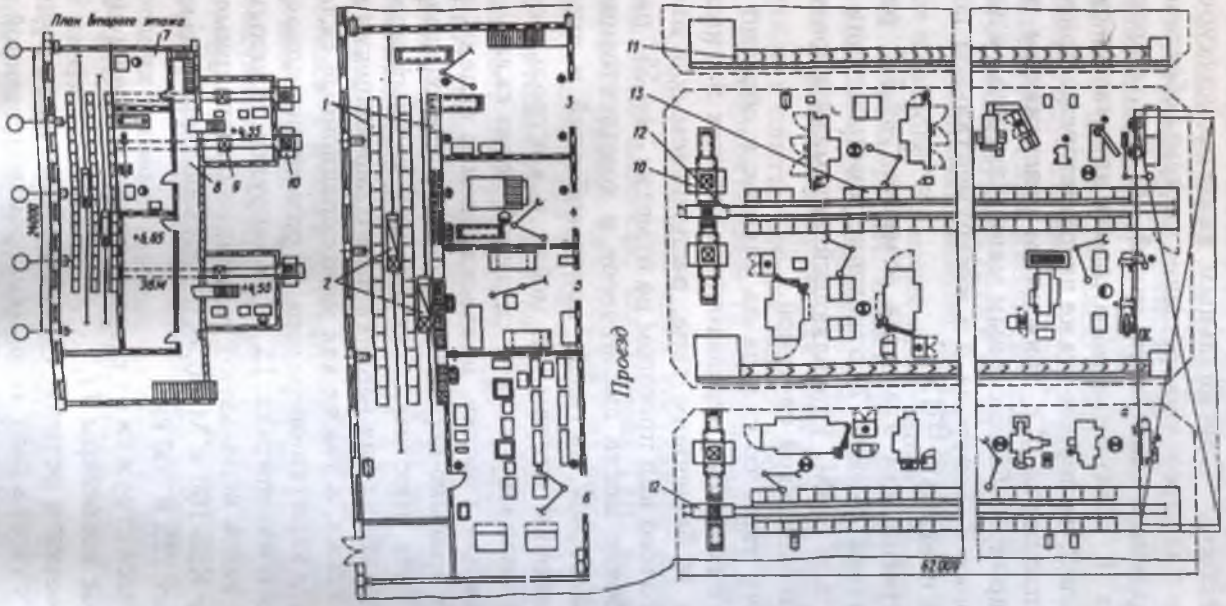


Рис. 7.32. Схема планировки автоматизированного участка обработки тел вращения (план второго этажа уменьшен)

относительно трассы движения рельсового транспортного манипулятора. Оригинальным является двухуровневое объемно-планировочное решение системы обеспечения функционирования станочных линий. В зоне многоярусного склада *1*, обслуживаемого двумя автоматическими штабелерами *2*, на первом этаже предусмотрены приемно-отпускная площадка *3* с приводным реверсивным рольгангом и шарнирно-балансирным манипулятором, а также участки мойки *4*, контроля *5* и инструментальной подготовки *6* для станков с ЧПУ.

На антресольном этаже на отметке "+6,65" расположена контора склада *7*, отделение комплектации *8* и помещения для ЭВМ, управляющей автоматизированной транспортно-складской системой.

Передачу тары со склада на участок и обратно осуществляют с помощью передаточных тележек *9* и накопителей тары *10* башенного типа, располагаемых в начале линии. Для этого над проездом на отметке "+4,55" расположены рабочие места диспетчеров и комплектовщиков. Передачу заготовок, деталей, приспособлений и инструментов к рабочим местам, на мойку и контроль осуществляют автоматизированной системой через склад. Для этого на каждом участке, примыкающем к складу, предусмотрены приемно-передающие секции. Накопители *10* башенного типа вместимостью 50 ячеек каждый используют как элеваторы для вертикального перемещения в зону первого этажа, а также как межоперационные склады. Вдоль трассы каретки-оператора *12* размещены одноярусные стеллажи-накопители *13*. Для загрузки тяжелых заготовок на станок используют шарнирно-балансирные манипуляторы КШ-160 и М500.48.01 грузоподъемностью соответственно 125 и 500 кг.

Для уборки стружки от станков предусмотрены штангово-ершовые конвейеры *11*.

Двухуровневое решение системы обеспечения функционирования участка дает экономию производственной площади вследствие лучшего использования высоты проле-

та, а также освобождает проезд от пересечения с трассой рельсовой каретки оператора.

Автоматизированный участок предназначен для изготовления валов, фланцев, шестерен, втулок, оправок, гильз и других деталей станков в мелкосерийном производстве. Годовой выпуск деталей составляет свыше 50 тыс. шт. при числе типоразмеров около 500. Детали изготавливают партиями по 20 ... 100 шт.

Планировка гибкого цеха по производству узлов станков на заводе "Красный пролетарий" показана на рис. 7.33. Цех включает ГПС обработки деталей, содержащую 52 станка с ЧПУ, отделение сборки и испытания узлов. В цехе обрабатывают детали типа тел вращения, корпусные детали и плиты; осуществляют сборку и испытание узлов. В ГПС обрабатывают 72 наименования деталей партиями по 65 шт.

Общая площадь цеха составляет около 7800 м^2, в том числе площадь, занимаемая ГПС механообработки, 5200 м^2. Здание цеха состоит из шести параллельных и одного поперечного пролетов шириной 12 м.

Автоматизированная транспортно-складская система включает два автоматических склада, расположенных в первом пролете, и транспортную систему из пяти транспортных роботов, управляемых от высокочастотного кабеля, проложенного в полу цеха, с устройствами передачи поддонов у рабочих позиций. Склады мелких и средних заготовок *1* и крупных заготовок *2* обеспечивают хранение необходимого запаса, откуда по запросам операторов-наладчиков и по команде ЭВМ очередная партия заготовок поступает на рабочую позицию. Кольцевые трассы транспортных роботов охватывают все рабочие позиции и зону передачи готовых деталей на сборку. Возле каждой позиции предусмотрены приемные столы для хранения очередной партии заготовок.

В каждом пролете расположены по одному ряду станочных модулей, оснащенных роботами и тактовыми столами для загрузки или магазинами с приспособлениями-

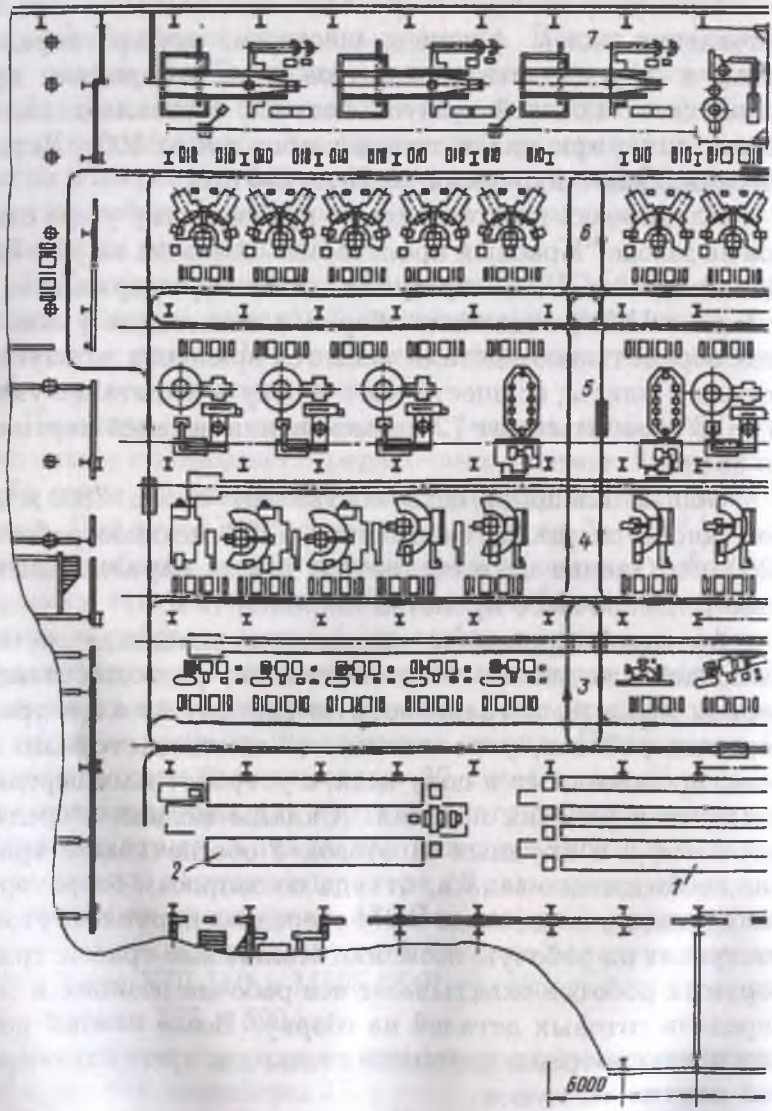
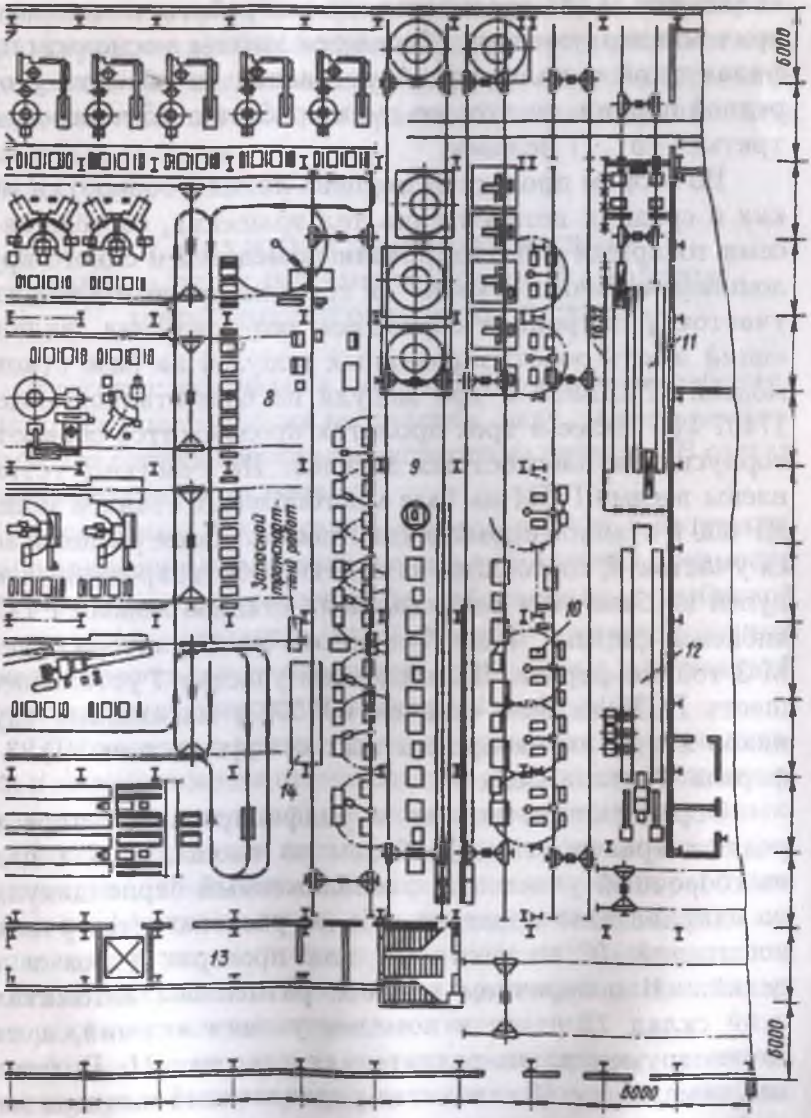


Рис. 7.33. Планировка гибкого автоматизированного цеха по изготовлению узлов станков


6000
6000
6000
8
9
10
11
12
13
Золотой транспортный рейс

спутниками. Установку заготовок на тактовые столы в приспособления-спутники выполняют операторы-наладчики. ГПС предназначена для работы в три смены, причем в первую смену 25 человек заняты в основном профилактикой и наладкой оборудования на обработку очередной партии, во вторую смену работает 15 человек, а в третью – 5...7 человек.

Во втором пролете размещена линия *3* обработки мелких и средних деталей типа тел вращения, состоящая из семи токарных роботизированных модулей и одного круглошлифовального станка. В третьем пролете находится участок *4* патронной обработки тел вращения, включающий шесть роботизированных модулей на базе станков модели 1720ПФ30 и три модуля на базе станков модели 1740РФ3. Далее в трех пролетах производится обработка корпусных и плоскостных деталей. На участке *5* установлены восемь ГПМ на базе многоцелевых станков модели ИР 800 и станков прозводства Японии. Далее располагается участок *6*, состоящий из девяти роботизированных модулей на базе двух вертикальных станков модели FTC-D японской фирмы "Фанук" и робота-манипулятора модели М-3 той же фирмы. На последнем участке *7* установлены шесть ГПМ на базе станков ИР 500 с магазинами спутников и три пятикоординатных станка модели VD 23-30 фирмы "Хитачи Сейки".

Обработанные детали в унифицированной таре передают транспортным роботом на площадку *8* и далее на сборочный участок *9*, расположенный перпендикулярно направлению пролетов. Далее располагается участок испытаний *10* со стендами для проверки узлов и изделий. В поперечном пролете размещены автоматический склад *12* узлов и комплектующих изделий, а также инструментально-раздаточная кладовая *11*. В отдельном помещении *13* находится управляющий вычислительный комплекс, а на каждом участке установлены по два терминала для связи с ЭВМ. Для подзарядки аккумуляторных батарей транспортных роботов предусмотре-

но зарядное устройство *14*. Вдоль станочных линий и рабочих мест сборочного отделения расположены трассы подвесных кран-балок, которые наряду с шарнирно-балансирными манипуляторами используют для подъема и перемещения поддонов с заготовками, а также для установки тяжелых заготовок в приспособления-спутники многоцелевых станков.

7.7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Итоговые показатели, характеризующие разработанные проектные решения по участку, цеху, заводу, необходимы для оценки качества и экспертизы проекта. В состав этих показателей включают:

а) основные показатели – годовой выпуск в натуральном выражении и в оптовых ценах; добавленная стоимость годового выпуска; численность работающих с разбивкой по группам; основные промышленно-производственные фонды; капитальные вложения, связанные с реализацией проекта; трудоемкость выпускаемой продукции;

б) показатели уровня техники, технологии, механизации и автоматизации производства – количество основного оборудования; удельный вес применяемых прогрессивных, малоотходных видов заготовок; фондовооруженность работающих (отношение основных фондов к числу работающих); коэффициент использования материала; уровень механизации и автоматизации производственных процессов; наличие собственных технических решений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами;

в) показатели уровня организации труда, производства и управления – производительность труда (добавленная стоимость годового выпуска) на одного работающего; фондоотдача (добавленная стоимость годового выпуска, отнесенная к основным фондам); коэффициент сменности

работы оборудования; коэффициент кооперирования производства; количество примененной вычислительной техники в управлении и организации производства;

г) показатели уровня эффективности проекта – себестоимость продукции, рентабельность (отношение ожидаемой прибыли к приведенным затратам на годовой выпуск), срок окупаемости капитальных вложений, эффективность от внедрения проекта на 1 р. затрат на проектирование;

д) показатели социальных факторов и условий труда – наличие решений по обеспечению наиболее благоприятных и безопасных условий труда; удельный вес рабочих, занятых на ручных операциях; наличие решений по охране окружающей среды и использованию отходов производства;

е) показатели оформления проекта – комплектность документации и соответствие ее нормативным документам о порядке разработки и утверждения проектов.

Объективно оценить качество проекта и сопоставить варианты очень сложно ввиду многочисленности и разноплановости приведенных показателей. Поэтому часто определяют значение интегрального (комплексного) показателя. Для этого прибегают к использованию метода векторной оптимизации, когда каждому частному показателю устанавливают соответствующий коэффициент значимости при использовании аддитивных моделей или коэффициент эластичности при использовании мультипликативных моделей.

В первом случае интегральный показатель качества проекта $K_{\text{инт}}$ имеет вид

$$K_{\text{инт}} = \sum_{i=1}^{n} K_i X_i,$$

где K_i – коэффициент значимости соответствующего частного показателя X_i.

Во втором случае интегральный показатель качества определяют на основе использования корреляционных зависимостей вида

$$K_{\text{инт}} = b \prod_{i=1}^{n} X_i^{\alpha_i},$$

где b – постоянный коэффициент; α_i – коэффициент эластичности, определяющий степень влияния частного показателя X_i.

С целью обеспечения высокого уровня проектных решений и наибольшей эффективности предполагаемых инвестиций проводят экспертизу проектов и смет. Для этой цели привлекают ведущих специалистов из независимых проектных организаций и фирм.

При технико-экономической оценке вариантов проектов необходимо учитывать перспективы развития производственных систем. Развитие производственных систем в машиностроении непосредственно связано с автоматизацией производства, обеспечением его гибкости и все более широкой интеграции на базе использования компьютерной техники и информационных технологий. Это ведет в будущем к созданию заводов как высокоавтоматизированных производств с минимальным участием людей и постоянным их совершенствованием по мере развития научно-технического прогресса.

Создание гибких интегрированных производств невозможно при дальнейшем использовании традиционных подходов. Они требуют помимо постоянных усилий в направлении автоматизации основных и вспомогательных процессов производства применения новых решений как в технологии машиностроения, так и в организации производства. Эти решения начинают проявляться в следующих направлениях.

1. Все более широкое использование малооперационной технологии и уменьшение степени дифференциации ТП изготовления и сборки изделий. Это связано с тем,

работы оборудования; коэффициент кооперирования производства; количество примененной вычислительной техники в управлении и организации производства;

г) показатели уровня эффективности проекта – себестоимость продукции, рентабельность (отношение ожидаемой прибыли к приведенным затратам на годовой выпуск), срок окупаемости капитальных вложений, эффективность от внедрения проекта на 1 р. затрат на проектирование;

д) показатели социальных факторов и условий труда – наличие решений по обеспечению наиболее благоприятных и безопасных условий труда; удельный вес рабочих, занятых на ручных операциях; наличие решений по охране окружающей среды и использованию отходов производства;

е) показатели оформления проекта – комплектность документации и соответствие ее нормативным документам о порядке разработки и утверждения проектов.

Объективно оценить качество проекта и сопоставить варианты очень сложно ввиду многочисленности и разноплановости приведенных показателей. Поэтому часто определяют значение интегрального (комплексного) показателя. Для этого прибегают к использованию метода векторной оптимизации, когда каждому частному показателю устанавливают соответствующий коэффициент значимости при использовании аддитивных моделей или коэффициент эластичности при использовании мультипликативных моделей.

В первом случае интегральный показатель качества проекта $K_{\text{инт}}$ имеет вид

$$K_{\text{инт}} = \sum_{i=1}^{n} K_i X_i,$$

где K_i – коэффициент значимости соответствующего частного показателя X_i.

Во втором случае интегральный показатель качества определяют на основе использования корреляционных зависимостей вида

$$K_{\text{инт}} = b \prod_{i=1}^{n} X_i^{\alpha_i},$$

где b – постоянный коэффициент; α_i – коэффициент эластичности, определяющий степень влияния частного показателя X_i.

С целью обеспечения высокого уровня проектных решений и наибольшей эффективности предполагаемых инвестиций проводят экспертизу проектов и смет. Для этой цели привлекают ведущих специалистов из независимых проектных организаций и фирм.

При технико-экономической оценке вариантов проектов необходимо учитывать перспективы развития производственных систем. Развитие производственных систем в машиностроении непосредственно связано с автоматизацией производства, обеспечением его гибкости и все более широкой интеграции на базе использования компьютерной техники и информационных технологий. Это ведет в будущем к созданию заводов как высокоавтоматизированных производств с минимальным участием людей и постоянным их совершенствованием по мере развития научно-технического прогресса.

Создание гибких интегрированных производств невозможно при дальнейшем использовании традиционных подходов. Они требуют помимо постоянных усилий в направлении автоматизации основных и вспомогательных процессов производства применения новых решений как в технологии машиностроения, так и в организации производства. Эти решения начинают проявляться в следующих направлениях.

1. Все более широкое использование малооперационной технологии и уменьшение степени дифференциации ТП изготовления и сборки изделий. Это связано с тем,

что возрастание сложности машиностроительной продукции и, как следствие, многочисленность операций при дифференциации обработки привели к непроизводительному увеличению числа вспомогательных операций, длительности производственного цикла и объема незавершенного производства в условиях непоточного производства. Это приводит к росту необходимых оборотных средств предприятия и снижает его эффективность.

Именно этим объясняется, что ранее эффективная технология с дифференциацией операций при гибкой автоматизации оказалась менее эффективной. Данная тенденция подтверждается более широким использованием в механообработке многоцелевых станков, позволяющих выполнять в одной операции различные виды обработки, например фрезерование, сверление, растачивание, шлифование и другие, а также отказом от поточно-конвейерной технологии сборки автомобилей на ряде фирм массового производства, таких как "Вольво", "Сааб-Скания" (Швеция), "Дженерал моторс" (США), где применена бригадная сборка автомобилей на одном рабочем месте. Благодаря этому обеспечивается гибкость (возможность сборки изделий различной модификации), высокое их качество и ответственность персонала.

2. Повышение гибкости и мобильности производства. Традиционно наиболее высокая производительность достигалась при широком использовании специального и специализированного оборудования, АС и скомпонованных на их базе АЛ. Однако проектирование и изготовление специального оборудования, после того как изделие спроектировано, длится 4...5 лет. Если к этому сроку прибавить 5...6 лет, необходимые для амортизации оборудования, то получается, что изделие не может изменяться около 10 лет. В этом заключается консерватизм производства на базе АЛ из специализированного оборудования.

Использование многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков с автоматической сменой отдельных инструментов и многошпиндельных головок, токарных

многоцелевых станков с одной или несколькими револьверными головками позволяет разрешить противоречие между высокой производительностью и малой гибкостью, характерное для производственных систем на базе специализированого оборудования, и одновременно обеспечить высокую производительность и гибкость. Таким образом становится возможным выпускать новые изделия на действующем оборудовании.

3. Дальнейшая интенсификация процессов изготовления деталей. Для повышения производительности технологического оборудования следует развивать многоинструментную и многопозиционную обработки с использованием параллельных и параллельно-последовательных схем построения операций. Для этого многоцелевые станки и модули ГПС необходимо выпускать в различных исполнениях для производств различного типа. Так, обработку сложных корпусных деталей, изготавливаемых в условиях крупносерийного и массового типов производства, целесобразно вести на ГАЛ из модулей, имеющих несколько шпиндельных головок для обработки заготовок с разных сторон. При этом должна быть обеспечена возможность смены многошпиндельных головок и автоматической передачи заготовок по гибкому маршруту. В случае изготовления аналогичных деталей малыми партиями целесообразно использовать ГПС из одношпиндельных многоцелевых станков с автоматической сменой отдельных инструментов и использованием многошпиндельных головок для обработки унифицированных сочетаний поверхностей, например отверстий для установки электродвигателей и других стандартных изделий.

В конструкциях нового оборудования должна быть обеспечена возможность интенсификации режимов резания при применении высокопроизводительных режущих инструментов. Уже в настоящее время передовыми фирмами выпускается оборудование, обеспечивающее возможность обработки со скоростями резания при токарной обработке до 800 м/мин.

4. Постоянная модернизация производства в ходе научно-технического прогресса. Для обеспечения конкурентоспособности выпускаемых изделий необходимо совершенствовать не только их конструкции, но и производство, постоянно повышая его эффективность. С этой целью гибкие производственные системы следует строить с использованием блочно-модульного принципа создания гибких модулей обработки и сборки, элементов автоматизированных транспортно-накопительных и складских систем, систем инструментообеспечения и других компонентов. Этот принцип позволяет осуществлять постоянную модернизацию без остановки производства, внедряя и расширяя ГПС поэтапно, учитывая что ГАП является капиталоемким предприятием. Высокая стоимость ГПС требует тщательного анализа вариантов технологических и производственных процессов и затрат на их реализацию. В этих условиях становится не только необходимым, но и неизбежным *моделирование производственных процессов* при решении вопросов перспективного развития.

5. Переход на использование систем машин для выполнения комплекса работ, обеспечивающих непрерывность производственных процессов. Задача повышения эффективности производства в значительной мере связана с сокращением сроков ТПП и производственного цикла. При создании нового изделия до 99 % времени затрачивали на конструирование изделия и его техническую подготовку и только один процент – на изготовление и испытание опытных образцов. При традиционном подходе в условиях серийного производства только 5 % времени уходит непосредственно на обработку и сборку, а остальные 95 % времени в производственном цикле заготовки и детали находятся на складах и рабочих местах в ожидании обработки и сборки. Непрерывные производственные процессы требуют прежде всего интеграции конструкторской и ТПП на базе систем автоматизированного конструирования и технологического проектирования (САПРК и АСТПП, за

рубежом CAD – CAM). Дальнейшая интеграция связана с объединением автоматизированных систем технической подготовки и планирования производства с ГПС различных видов обработки и сборки.

Например, использование интегрированных систем позволило уменьшить производственный цикл изготовления весьма сложных многоцелевых станков в ГПС "Система 21" фирмы "Ямазаки" (Япония) до четырех недель по сравнению с четырьмя месяцами, которые были необходимы при использовании станков с ЧПУ. По данным фирмы, производственный цикл будет доведен до одной недели.

Время на переналадку при переходе от изготовления одной достаточно сложной детали гидроаппаратуры к другой на одной из лучших отечественных ГПС АЛП-3-2 составляет 30 с (время, необходимое для смены палеты). Это обеспечивает возможность вести обработку комплектных групп деталей для одного изделия и работать практически без складов по принципу "все только тогда, когда нужно". Одновременно сокращение заделов ведет к уменьшению потребной площади.

6. Минимизация потерь от брака и выпуск высококачественной продукции. Качество продукции в ГПС все более широко будет обеспечиваться применением соответствующих систем автоматического контроля и управления ТП. Внедрение автоматических систем контроля качества заготовок и материалов на входе, в процессе изготовления деталей и сборки изделий, а также контроль и испытание готовой продукции с необходимой адаптацией ТП к изменяющейся производственной ситуации практически исключает брак, обеспечивает высокое качество продукции, не зависящее от квалификации оператора.

Для повышения качества обработки более широкое применение получат самонастраивающиеся и самоподнастраивающиеся системы автоматизации, системы с автоматическим контролем выходных параметров обработки и адаптивные системы. Аналогичные системы автоматиза-

ции найдут применение и на сборке, причем получат более широкое применение робототехнические системы, оснащенные устройствами распознавания образов для автоматической ориентации разнообразных деталей и тактильными датчиками для автоматического управления процессами выполнения соединений.

7. Малая материалоемкость и энергопотребление процессов и изделий являются одними из основных тенденций развития машиностроения. Решению задачи максимального приближения форм и размеров заготовок к размерам и форме готовых деталей способствует более широкое использование литья под давлением, в оболочковые, вакуумно-пленочные и песчано-восковые формы, жидкой и объемной холодной штамповок, горячей штамповки и прессования в закрытых штампах, методов порошковой металлургии. Замена литых заготовок штампосварными снижает их массу на 30 %. Использование новых материалов и точных заготовок имеет целью и позволяет снизить удельные затраты на изготовление деталей и изделий. Так, фирма "Понтиак" (США) разработала процесс изотермической закалки чугуна, что позволило изготавливать литьем шестерни вместо ранее применявшейся ковки из высоколегированных сталей. Это обеспечивает экономию дорогостоящих сталей и уменьшает массу заготовки на 40 %.

8. Углубление технологической, подетальной и предметной специализации. Мировой опыт развития машино- и приборостроения показывает, что неуклонно уменьшается число заводов с полным циклом производства и растет число заводов и фирм, специализированных по признаку выполняемых ТП (литейных, кузнечных, сборочных и др.) либо по признаку изготовляемых деталей или изделий (производства зубчатых колес, поршневых колец, подшипников, карбюраторов, электродвигателей, автотракторного электрооборудования, двигателей и др.). Это создает условия, при которых даже массовая продукция, комплек-

туемая часто по желанию потребителя из унифицированных деталей и комплектующих изделий, выпускаемых на специализированных производствах в массовом порядке, становится более индивидуальной. Таким образом, налицо тенденция, при которой каждое производство становится звеном сети кооперирующихся предприятий.

Использование изложенных принципов и новых подходов при создании производственных систем обеспечивает высокую производительность труда и фондоотдачу. Экономию живого труда в гибких интегрированных производствах можно показать на таких примерах. Японская фирма "Ямазаки Сейко", имея 180 работающих в гибком автоматизированном производстве, выпускает 150 металлорежущих станков в месяц. Фирма "Вольво" (Швеция) в 1983 г. выпускала 105 тыс. автомобилей в год при общей численности работающих 5800 чел. (один человек изготавливал 18 автомобилей в год). Та же фирма в г. Калмаре на первом в мире высокоавтоматизированном автомобильном заводе, работающем без традиционного конвейера, выпускает в год 30 тыс. автомобилей при численности работающих 600 чел. (50 автомобилей в год на одного человека).

Для сравнения можно отметить, что в 1925 г. автомобильная промышленность США выпускала 4 млн автомашин при численности работающих 425 тыс. человек (9 автомобилей в год на одного человека). Производительность нового завода кампании "Дженерал моторс", построенного по проекту "Сатурн" на основе новейшей технологии гибкого производства с централизованной обработкой, составляет 400 . . . 500 тыс. автомобилей в год при 6 тыс. персонала (80 автомобилей в год на одного человека).

Все сказанное не означает полного отрицания традиционных решений, однако характеризует тенденции совершенствования производственных систем в машиностроении и отражает опыт наиболее передовых фирм.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите критерии оценки технического уровня производственных систем. Какова структура и последовательность выполнения проектных работ?
2. В чем сущность метода приведения при технологическом проектировании цехов? Как определить приведенную программу?
3. Назовите основные организационные формы механосборочного производства. Какова сущность системного подхода к выбору структуры цеха?
4. Как определяется число станков и рабочих мест для участков и линий для различных типов производства?
5. В каких случаях выбирают непрерывно или периодически движущийся конвейер? Как определить число рабочих мест на конвейере и его длину?
6. Дайте характеристику основных компоновочных схем механосборочного производства. В чем достоинства, недостатки этих схем и каковы области их применения?
7. Какие варианты размещения оборудования возможны на станочных участках и линиях? В каких случаях применяют тот или иной вариант?
8. Назовите критерии оптимизации при выборе варианта расположения оборудования и рабочих мест на участке.
9. Дайте характеристику компоновочных схем ГПС.
10. Как определяется число работающих по каждой группе при укрупненном и детальном проектировании?
11. Как определить площадь складов при укрупненных методах расчета и детальном проектировании?
12. Как определить число ячеек автоматизированного склада для хранения спутников и заготовок в таре?
13. Дайте классификацию конвейеров различного типа, расскажите об их конструктивных особенностях и области применения.
14. Каковы функции, выполняемые системой инструментообеспечения и ремонтной службой?
15. Какие факторы влияют на выбор компоновочной схемы производственного здания?
16. Укажите основные принципы, определяющие компоновку цеха.
17. Сформулируйте назначение и структуру технико-экономических показателей проектов производственных систем.

Список рекомендуемой литературы

Автоматические линии в машиностроении: Справочник: В 3 т. Т.2. Станочные автоматические линии / С.Н. Власов, В.Б. Генин, Г.И. Горелик и др.; Под общ.ред. А.И. Дащенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.

Андерс А.А., Потапов И.М., Шулешкин А.В. Проектирование заводов и механосборочных цехов в автотракторной промышленности. – М.: Машиностроение, 1982. – 271 с.

Васильев В.Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1986. – 312 с.

Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.

Корсаков В.С. Автоматизация производственных процессов. – М.: Высш. шк., 1978. – 396 с.

Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1983. – 227 с.

Краткий справочник технолога тяжелого машиностроения / И.В. Маракулин, А.П. Бунец, В.Г. Коринюк. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.

Мельников Г.Н., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

Петров В.Д., Масленников А.Н., Осипов Л.А. Планирование гибких производственных систем. – Л.: Машиностроение, 1985. – 182 с.

Проектирование технологии / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

Сборка и монтаж изделий в машиностроении. В 2 т. Т.1. Сборка изделий в машиностроении / Под ред. В.И. Корсакова, В.К. Замятина. – М.: Машиностроение, 1983. – 480 с.

Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и инструментов / С.Н. Корчак, А.А. Котин, А.Г. Ракович и др.; Под ред. С.Н. Корчакова. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.

Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1988. – Т.1. – 656 с; – Т.2. – 496 с.

Справочник технолога по автоматическим линиям / А.Г. Косилова, А.Г. Лыков, О.М. Деев и др.; Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1982 – 320 с.

Станочные приспособления: Справочник: В 2 т. / Под ред. Б.Н. Вардашкина. – М.: Машиностроение, 1984. –Т.1.– 592 с; –Т.2. – 656 с.

Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

Технологичность конструкций изделий: Справочник / Т.К. Алферова, Ю.Д. Амиров, П.И. Волков и др.; Под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1985. – 386 с.

Технология машиностроения (специальная часть) / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 480 с.

Технология производства гусеничных и колесных машин. / Н.М. Капустин, К.М. Сухоруков, К.К. Мещеряков и др.; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.

Технология тяжелого машиностроения / С.И. Самойлов, В.М. Горелов, В.М. Браславский и др.; Под ред. С.И. Самойлова. – М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 5

ГЛАВА 1. **Организационное обеспечение технологической подготовки производства** 7

1.1. Организация службы технологической подготовки производства 7

1.2. Функции, организационное и информационное обеспечение технологической подготовки производства 10

1.2.1. Обеспечение технологичности конструкций изделий 10

1.2.2. Обеспечение технологического проектирования 16

1.2.3. Обеспечение выбора и подготовки заготовок 26

1.2.4. Организация контроля и управления технологическими процессами 27

1.3. Технологическая подготовка технического перевооружения и реконструкции участков и цехов предприятий 34

1.4. Автоматизация технологической подготовки производства 38

1.4.1. Концептуальные модели автоматизированных систем технологической подготовки производства 38

1.4.2. Проблемы автоматизации технологической подготовки производства 47

ГЛАВА 2. **Станочные, сборочные и контрольные приспособления** 52

2.1. Классификация станочных приспособлений 52

2.2. Выбор установочных элементов приспособлений 54

2.2.1. Установка заготовки на плоские технологические базы 54

2.2.2. Установка заготовки на внутреннюю цилиндрическую поверхность и перпендикулярную ее оси плоскость . . 62

2.2.3. Установка заготовки на два цилиндрических отверстия с параллельными осями и перпендикулярную им плоскость 64
2.2.4. Установка заготовки на центровые отверстия 67
2.2.5. Установка заготовки по зубчатым поверхностям . . . 68
2.3. Зажимные устройства станочных приспособлений и их расчет 69
2.3.1. Характеристика зажимных устройств 69
2.3.2. Основные схемы установки заготовок и расчет сил закрепления 75
2.3.3. Схемы для расчета сил закрепления заготовки под действием внешнего момента 79
2.3.4. Расчет простейших зажимных устройств станочных приспособлений 83
2.3.5. Расчет центрирующих зажимных механизмов 89
2.3.6. Расчет пневмогидравлических зажимных механизмов 95
2.3.7. Расчет электромагнитных зажимных устройств . . . 102
2.3.8. Расчет магнитных зажимных устройств 103
2.4. Направляющие и вспомогательные устройства приспособлений 104
2.5. Общая последовательность и пример разработки специального станочного приспособления 111
2.6. Классификация сборочных приспособлений и основные этапы их проектирования 118
2.7. Особенности проектирования сборочных приспособлений 120
2.7.1. Загрузочные устройства 120
2.7.2. Установочные приспособления 126
2.7.3. Ориентирующие устройства 128
2.7.4. Рабочие приспособления 130
2.7.5. Контрольные приспособления 134
2.8. Особенности проектирования контрольных приспособлений 136
2.8.1. Назначение контрольных приспособлений 136
2.8.2. Погрешность измерения и основные виды погрешностей контрольных приспособлений 136
2.8.3. Расчеты, связанные с определением составляющих общей погрешности контрольного приспособления . . . 140
2.8.4. Общая методика расчета погрешности контрольного приспособления 158

2.9. Универсально-сборные и переналаживаемые приспособления 159
2.10. Автоматизация выбора и проектирования приспособлений 169

ГЛАВА 3. **Контроль и управление технологическим процессом** 178
3.1. Технологический процесс как объект контроля и управления 178
3.1.1. Особенности технологических процессов в машиностроении 178
3.1.2. Моделирование технологических процессов 185
3.2. Анализ технологических процессов 189
3.2.1. Основные задачи анализа 189
3.2.2. Аппарат анализа 193
3.3. Формирование решений при управлении технологическими процессами 197
3.4. Управление технологическими процессами 205
3.4.1. Основные методы управления технологическими процессами 205
3.4.2. Оперативное регулирование статической настройки технологических систем 215
3.4.3. Оперативное регулирование динамической настройки технологических систем 223
3.4.4. Особенности управления технологическими процессами в автоматизированном производстве 230
3.4.5. Адаптация технологических процессов к изменяющейся производственной ситуации 234

ГЛАВА 4. **Технологические процессы изготовления деталей в условиях единичного производства** . . . 240
4.1. Характеристика объектов и технологических процессов единичного производства 240
4.2. Технологические процессы тяжелого машиностроения 248
4.2.1. Методы получения заготовок и припуски 248
4.2.2. Разметка заготовок 253
4.2.3. Установка заготовок на оборудование и выверка . . . 255
4.2.4. Технология изготовления корпусных деталей 262
4.3. Технологические процессы изготовления прецизионных деталей 277
4.3.1. Построение операций обработки основных поверхностей прецизионных деталей 277

4.3.2. Изготовление прецизионных валов 282

ГЛАВА 5. **Технологические процессы изготовления деталей в условиях серийного и массового типов производства** 293

5.1. Характеристика объектов и технологических процессов серийного и массового типов производства 293

5.2. Изготовление деталей на станках с ЧПУ 298

5.2.1. Технологические возможности станков с ЧПУ и требования к конструкции изготавливаемых деталей . . 298

5.2.2. Наладка станков с ЧПУ 310

5.2.3. Программирование и обработка характерных поверхностей 314

5.2.4. Повышение точности обработки 321

5.3. Изготовление деталей на агрегатных станках и автоматических линиях 326

5.3.1. Установка заготовок 326

5.3.2. Обработка плоских поверхностей 335

5.3.3. Обработка основных и крепежных отверстий 341

5.4. Технологические процессы изготовления характерных деталей 353

5.4.1. Ступенчатые валы 353

5.4.2. Коленчатые валы 364

5.4.3. Рычаги и шатуны 371

5.4.4. Корпусные детали 388

5.4.5. Сложнопрофильные детали 404

ГЛАВА 6. **Технологические процессы сборки машин** . . . 425

6.1. Технологические процессы сборки типовых узлов машин и механизмов 425

6.1.1. Сборка узлов с подшипниками качения 425

6.1.2. Сборка узлов с подшипниками скольжения 431

6.1.3. Сборка узлов с подвижными цилиндрическими соединениями 435

6.1.4. Сборка зубчатых и червячных передач 438

6.1.5. Сборка узлов с плоскими направляющими скольжения 443

6.2. Балансировка сборочных единиц 445

6.3. Технический контроль качества сборки 449

6.4. Испытание сборочных единиц и машин 451

6.5. Типовые средства механизации и автоматизации сборки . 452
6.5.1. Механизированное и автоматическое сборочное оборудование 452
6.5.2. Автоматизированные линии сборки узлов автомобилей и тракторов 461
6.5.3. Средства автоматического контроля сборки 470

ГЛАВА 7. **Производственные системы механической обработки и сборки** 475
7.1. Структура производственных систем 475
7.2. Маркетинг в машиностроительном производстве, оценка технического уровня и выбор стратегии развития производства 479
7.3. Основные направления и последовательность проектирования производственных систем 488
7.4. Анализ и синтез структуры построения основных производственных процессов 493
7.4.1. Методы технологического проектирования производственных систем 493
7.4.2. Методика выбора структуры производственных систем 502
7.4.3. Расчет количества оборудования и рабочих мест . . . 517
7.4.4. Компоновочные схемы цехов, планировка оборудования и рабочих мест 526
7.4.5. Особенности технологического проектирования автоматических производственных систем 550
7.4.6. Определение состава и численности работающих . . . 561
7.5. Системы обеспечения функционирования производства 568
7.5.1. Транспортно-складская система 568
7.5.2. Система инструментообеспечения 591
7.5.3. Система ремонтного и технического обслуживания механосборочного производства 593
7.6. Синтез производственных систем 602
7.6.1. Компоновка производственной системы 602
7.6.2. Уточнение планировки рабочих мест и численности работающих 613
7.6.3. Примеры планировочных решений производственных систем механосборочного производства 614
7.7. Технико-экономические показатели и перспективы развития производственных систем 623

Список рекомендуемой литературы 633

Учебное издание

Бурцев Валерий Михайлович, Васильев Александр Сергеевич, Деев Олег Михайлович, Кондаков Александр Иванович, Максимович Борис Дмитриевич, Мельников Георгий Николаевич, Никадимов Евгений Федорович, Соловьев Александр Иванович, Тавров Виталий Иванович, Тихонов Виктор Павлович, Ястребова Надежда Александровна

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В двух томах

Том 2

ПРОИЗВОДСТВО МАШИН

Редактор *Ставицкая Е.Н.*
Художник *Водчиц С.С.*
Корректор *Калашникова О.В.*

ЛР №020523 от 25.04.97

Сдано в набор 20.11.97. Подписано в печать 15.10.98.
Формат 60x88/16. Печать офсетная. Бумага офсетная №1.
Усл. печ. л. 40. Уч.-изд. л. 39,69.
Тираж 1500 экз. Изд №109. Заказ № 6485

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНИТИ,
140010, г. Люберцы, Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.
Тел. 554-21-86