

С. А. КАРТАВОВ

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНО- СТРОЕНИЯ

(специальная часть)

Издание второе, переработанное и дополненное

*Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования УССР
в качестве учебника для студентов
машиностроительных специальностей вузов*

ИЗДАТЕЛЬСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ВИЦА ШКОЛА»
ГОЛОВНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КИЕВ — 1984

Технология машиностроения (специальная часть).
Картавов С. А.—2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Вища школа. Головное изд-во. — 272 с.

В учебнике рассмотрены основы проектирования экономичных процессов механосборочного производства, комплексных процессов обработки типовых деталей механизмов и машин, новые методы обработки и формообразования деталей, а также перспективы развития технологии машиностроения.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 01.01.84.

Предназначен для студентов машиностроительных специальностей вузов, а также может быть полезен инженерам машиностроительных предприятий.

Табл. 63, Ил. 149. Библиогр.: 18 назв.

Рецензент профессор доктор технических наук
Л. В. Морозов (Запорожский машиностроительный институт).

Редакция литературы по машиностроению и приборостроению

Зав. редакцией *О. А. Добровольский*

К $\frac{270400000-018}{M211(04)-84}$ 199—84

- © Издательское объединение «Вища школа», 1974
- © Издательское объединение «Вища школа», 1984, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Машины служат для повышения производительности труда, а это, по выражению В. И. Ленина, самое важное, самое главное для победы нового общественного строя. Кроме того, развитое машиностроение — основа технико-экономической независимости и обороноспособности страны.

Производство машин непрерывно развивается. Нет ни одной отрасли народного хозяйства СССР, где бы не применялись разнообразные машины.

В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрена широкая программа развития энергомашиностроения, тяжелого и транспортного машиностроения, электротехнической промышленности, химического и нефтяного машиностроения, станкостроительной и инструментальной промышленности, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, автомобильной промышленности, машиностроения для животноводства и кормопроизводства, строительного и дорожного машиностроения, машиностроения для легкой и пищевой промышленности.

Необходимо значительно увеличить производство средств механизации подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских работ, а также средств автоматизации для различных отраслей промышленности. Большое внимание уделяется экономике производства, снижению себестоимости продукции и повышению рентабельности предприятий.

Во всех отраслях машиностроения есть свои специфические особенности и много общего в методах обработки, оборудовании, организации производства.

Вопросы производства машин изучают в курсе «Технология машиностроения». Общий курс [7, 9, 10] изучает основы технологии машиностроения. Основные задачи специального курса — изучение комплексных технологических процессов превращения заготовок в готовые детали машин, изучение способов сборки машин, обобщение теоретических и практических сведений, полученных студентами из предыдущих смежных дисциплин, и сведений производственной практики.

В создание отечественной технологии машиностроения большой вклад внесли ученые А. П. Соколовский, А. И. Каширин, Б. С. Балакшин, С. С. Рудник, М. Е. Егоров, Д. В. Чарнко, В. М. Кован, В. С. Корсаков, С. П. Митрофанов, М. В. Медвидь и многие другие.

Технологию машиностроения изучают на базе таких дисциплин, как «Учение о резании металлов», «Режущие инструменты», «Основы взаимозаменяемости и технические измерения», «Металлорежущие станки и автоматы», «Сопrotивление материалов», «Теоретическая механика».

Переход предприятий к работе в условиях интенсификации производства требует точной предварительной оценки производимой продукции. Приведенные в книге материалы по определению наиболее вероятной трудоемкости обработки могут способствовать решению этого вопроса.

В связи с изданием новых нормативных материалов в книгу внесены ряд дополнений и изменений. Введены допуски и посадки по стандартам СЭВ, параметры шероховатости по ГОСТ 2789—73 и некоторые новые технологические процессы, более полно отражены вопросы, связанные с применением роботов и безотходной технологии.

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Для проектирования технологических процессов механической обработки основными документами являются: рабочий чертеж детали, сборочный чертеж узла, к которому относится деталь, и технические условия на изготовление детали. Рабочие чертежи должны быть выполнены в соответствии с единой системой конструкторской документации (ЕСКД) и содержать все необходимые данные для разработки технологического процесса.

Технические условия на изготовление деталей иногда даются в виде отдельных приложений к чертежам, но чаще указываются на рабочем чертеже.

Изучение рабочего чертежа позволит правильно определить вид и последовательность обработки заготовки, в зависимости от предъявляемых требований к готовой детали выбрать рациональное оборудование.

В соответствии с заданной поддетальной производственной программой при разработке технологического процесса определяют: тип производства, величину партий деталей (приложение б), вид и размеры заготовок, последовательность технологических операций, тип станков, необходимую оснастку, размеры обрабатываемых поверхностей, режимы и время обработки, разряд работы. Схема разработки технологического процесса приведена на рис. 1.

Для того чтобы правильно выбрать станок или другой вид оборудования, рассчитать режимы обработки, необходимо иметь паспорта и каталоги станков с техническими данными; альбомы нормальных и специальных режущих, мерительных и вспомогательных инструментов; альбомы нормальных приспособлений; нормативы по режимам резания, по подготовительно-заключительному, вспомогательному времени и времени обслуживания рабочего места.

При разработке технологического процесса сначала намечают маршрут обработки заготовки, начиная от изготовления исходной заготовки до сдачи готовой детали на сборку (межцеховой маршрут). Затем намечают маршрут прохождения заготовки по отдельным операциям в каждом цехе (внутрицеховой маршрут).

Намеченный внутрицеховой маршрут уточняют при выборе оборудования, инструментов, приспособлений и режимов обработки. Затем составляют и оформляют рабочий вариант технологического процесса.

Разработку технологических процессов ведут на основе Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) по ГОСТ 14.001—73, ГОСТ 14.002—73 и Единой системы технологической документации (ЕСТД) по ГОСТ 3.1109—82.

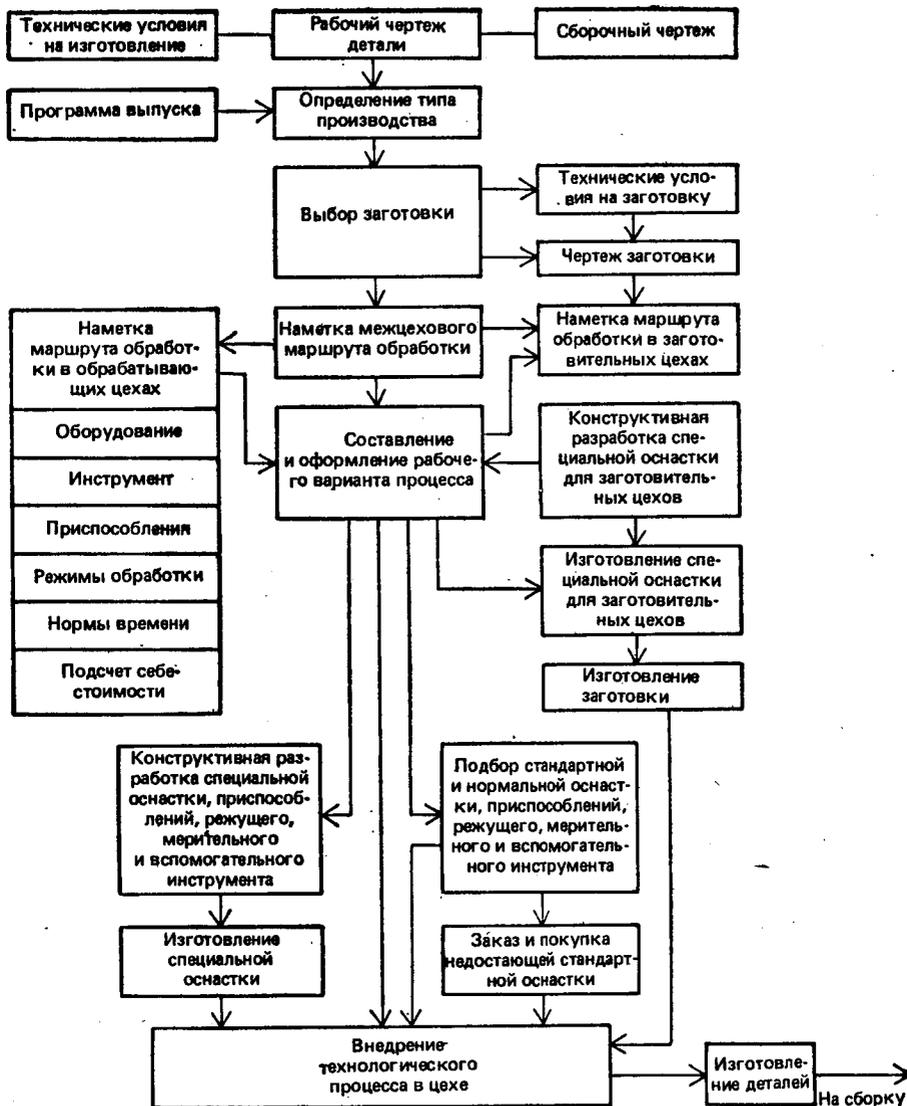


Рис. 1. Схема разработки технологического процесса.

При наметке комплексного технологического процесса необходимо учитывать факторы, влияющие на качество и себестоимость изготовления деталей.

§1. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основные показатели совершенства технологического процесса в машиностроении — это высокое качество изготовления и сборки деталей и наименьшая возможная себестоимость машин. На качество

технологического процесса влияют технические и экономические факторы.

Технические факторы являются основными, экономические — производными от основных. К техническим факторам относятся точность деталей и точность машин, качество поверхностей деталей, технологичность деталей и конструкций, тип (масштаб) производства, оснащённость технологического процесса.

Точность деталей и машин. В современных машинах значительная часть де-

талей имеет высокую точность. Точность деталей характеризуется величиной отклонений фактических размеров их от размеров, заданных на чертеже. Точность машины характеризуется точностью перемещений конечных ведомых звеньев, исчисляемых в сотых, а иногда и в тысячных долях миллиметра. Например, точность вращения шпинделя металлорежущего станка характеризуется величиной радиального и торцового биения. Точность перемещения суппорта токарного станка определяется разностью между расчетными перемещениями, отсчитываемыми по лимбу, связанному с ходовым винтом, и фактическими перемещениями суппорта. В зависимости от требований конечной точности и условий работы деталей в узле назначают точность изготовления отдельных деталей, связанных с конечным (ведомым) звеном.

Точные детали применяют и в неточных машинах для повышения долговечности, герметичности системы, уменьшения динамических нагрузок, шума и т. п. Так, по точности перемещения конечных ведомых звеньев экскаватор — машина неточная. Однако некоторые детали узлов экскаватора, особенно в гидросистеме, изготовлены с высокой точностью.

Точность деталей машин в значительной степени влияет на выбор маршрута обработки и режимов резания. Как правило, при изготовлении точных деталей назначают дополнительные переходы, чтобы повысить правильность формы обрабатываемых поверхностей и подготовить их к отделочной (финишной) обработке.

Как показали наблюдения, зависимость между точностью изготовления x и себестоимостью машины y характеризуется кривой гиперболического вида (рис. 2). Эта зависимость касается изготовления машины в целом, изготовления отдельных деталей, выполнения отдельных операций и выражается формулой

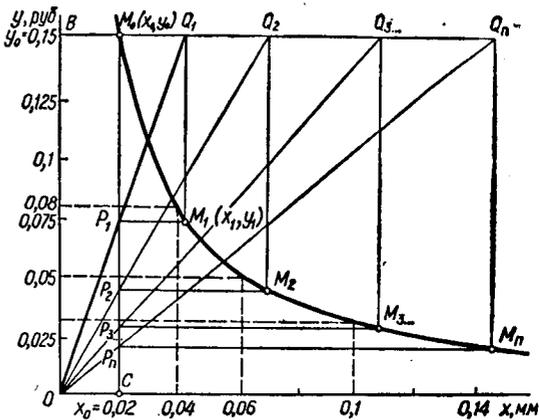


Рис. 2. Кривая зависимости себестоимости детали от точности изготовления.

$$y = \frac{m}{x}, \quad (1)$$

Таблица 1. Зависимость себестоимости от точности обработки

Точность обработки, мм	Себестоимость обработки, руб.	Соотношение себестоимости
0,1	0,03	1,0
0,06	0,05	1,7
0,04	0,08	2,7
0,02	0,15	5

где y — себестоимость изделий; x — допуск на изготовление для данной операции (количество точных размеров для данного изделия); m — постоянная.

Из выражения (1)

$$m = xy. \quad (2)$$

Как известно, принимая за асимптоты равнобочной гиперболы оси координат, можно определить форму кривой по одной точке. По себестоимости какого-либо одного процесса (или группы процессов)

можно определить себестоимость аналогичного другого процесса, выполненного при других условиях.

Гиперболу (рис. 2) по известной точке $M_0(x_0, y_0)$ строят следующим образом: проводят прямые $y = y_0$ и $x = x_0$. Эти прямые пересекают произвольные лучи OQ_1, OQ_2, \dots . Точки пересечения этих лучей с прямыми обозначим $P_1, P_2, \dots, Q_1, Q_2, \dots$. Через эти точки проводят прямые, параллельные осям координат. Точки пересечения прямых являются точками гиперболы.

На основании уравнения (2) $x_0 y_0 = m$ и $xy = x_0 y_0$ или $\frac{y}{x_0} = \frac{y_0}{x}$.

Так как треугольники OBQ_1 и OSP_1 подобны, то

$$\frac{\overline{CP_1}}{\overline{OC}} = \frac{\overline{OB}}{\overline{BQ_1}}, \text{ или } \frac{y_1}{x_0} = \frac{y_0}{x_1}.$$

Следовательно, точка $M_1(x_1, y_1)$ принадлежит кривой $M_0 M_n$. По этой кривой можно определить относительную себестоимость операции y при различных точностях обработки x .

Повышение точности изготовления приводит к резкому росту себестоимости детали. Предположим, что ту или иную точность получаем шлифованием (этот метод сейчас наиболее распространен для получения точных деталей). По рис. 2 можно составить таблицу (табл. 1), из которой видна указанная закономерность.

Качество поверхностей деталей. Качество поверхностей характеризуется параметрами шероховатости (ГОСТ 2789—73) и состоянием поверхностного слоя (твердость, структура).

От качества поверхностей во многих случаях зависят износостойкость, прочность, долговечность деталей. Требуемое качество получают с помощью специального оборудования или применяя специальные методы и режимы обработки. Например, при холодном накатывании (пластическом деформировании) резьбы на деталях повышается точность соединения этих деталей с сопряженными, а также их прочность и износостойкость. При замене растачивания, развертывания и протягивания отверстий в деталях из чугуна АСЧ-1 дорнованием или виброраскатыванием уменьшается коэффициент трения в соответствующих кинематических парах и повышается износостойкость деталей. Охватывающее алмазное хонингование хромированных поршневых колец

повышает их износостойкость в 2,5 раза по сравнению с износостойкостью колец, притертых в чугунной гильзе.

Иногда для повышения качества поверхности применяют такие методы обработки, как тонкое (алмазное) точение или фрезерование. Как известно, этот процесс осуществляется при малой глубине резания, малой подаче и высокой скорости резания. В других случаях, при обработке деталей из вязких легированных сталей, снижают режимы резания (скорость резания, подачу), чтобы получить шероховатость поверхности в заданных пределах. Все это влияет на экономические показатели обработки.

Точность обработки и параметры шероховатости на чертеже детали назначает конструктор. Однако при проведении технологического контроля технолог также должен обращать на это внимание.

Технологичность конструкций. По ГОСТ 18831—73 технологичность конструкции изделия — это совокупность свойств конструкции, проявляемых в оптимальных затратах труда, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций того же назначения, при обеспечении установленных показателей качества и принятых условий изготовления, эксплуатации и ремонта.

Следовательно, вопросы технологичности должны решаться комплексно для всего процесса изготовления машин, начиная от процесса изготовления заготовок и кончая процессом сборки.

Технологичности детали — это совокупность свойств конструкции детали, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материала и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте, обеспечении технологичности сборочной единицы, в состав которой она входит.

Правила обеспечения технологичности конструкции приведены в ГОСТ 14.202—73 ÷ ГОСТ 14.204—73.

Технологичность конструкции зависит от уровня знаний конструктора в области технологии производства. Нетехнологичность должна выявляться при конструировании машины. Поэтому в разработке конструкции обязательно принимают участие ведущие технологи заготовительных и обрабатывающих цехов. Ведущий технолог по механической обработке должен обратить внимание на наличие в конструкции обязательных элементов, без которых детали будут нетехнологичны. У механически обрабатываемых деталей к обязательным элементам конструкции относятся канавки для выхода инструмента (резьбового реза, шлифовального камня, зуборезного долбяка), входные фаски на гладких и резьбовых отверстиях, галтели и проточки для посадки шарико- и роликоподшипников, закругления острых кромок и фаски на валах.

Кроме того, для улучшения технологичности деталей при конструировании необходимо учитывать следующее:

1. Конструкция детали и род применяемого для нее материала должны способствовать уменьшению механической обработки (рис. 3, а). Шпильку, изготовленную из горячекатаного 1 и холоднотянутого 2

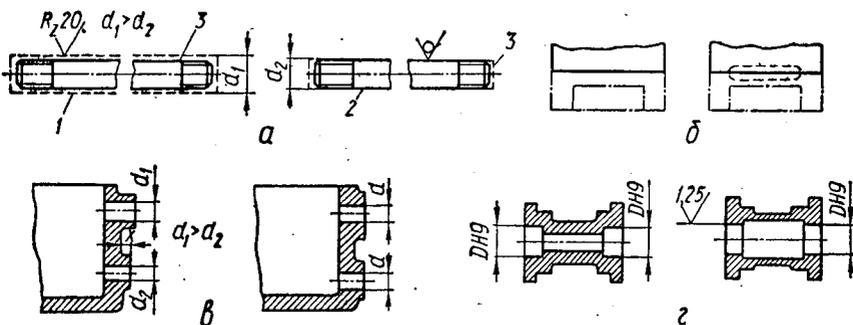


Рис. 3. К примерам улучшения технологичности деталей.

металла, обрабатывают по-разному. В первом случае необходимо обработать деталь по всему контуру, во втором — только концы. Однако холодотянутый металл дороже горячекатаного на 50 %. Заменить им горячекатаный целесообразно лишь тогда, когда сумма стоимости обработки и стоимости потери горячекатаного металла меньше или равна увеличению расходов на холодотянутый металл. Уменьшение механической обработки за счет изменения величины обрабатываемых поверхностей показано на рис. 3, б.

2. Количество инструментов, необходимых для обработки, и время обработки за счет рациональной конструкции детали должны сокращаться. Пример улучшения технологичности литой детали за счет некоторого изменения ее конструкции показан на рис. 3, в. Деталь имела отверстия разных диаметров d_1 и d_2 и различную высоту бобышек. Для обработки требовалось два набора инструментов и раздельная обработка бобышек. В улучшенной конструкции (справа) отверстия сделаны одинаковых диаметров, бобышки можно профрезеровать с одной установки (на проход).

3. В конструкции детали должны быть заложены возможности уменьшения количества установок при обработке. На рис. 3, г показано, что при изменении формы внутренней выточки в детали одного и того же назначения можно обработать отверстие $DH9$ не с двух установок, а с одной *.

Удорожает изготовление машины также большое разнообразие посадок и применение нестандартных посадок. О том, какое экономическое значение имеет введение или сокращение одного классного размера, можно судить по табл. 2. Для уменьшения затрат, связанных с изготовлением специального и уменьшением количества нормального инструмента, следует применять ограниченные ряды посадок и размеров, таблицы комбинаций зазоров и натягов, получаемых при использовании стандартных посадок разных квалитетов, устранять ненужную точность и излишнюю обработку.

Решая конкретные задачи конструирования отдельных деталей, все перечисленные способы применяют в комплексе. Пример изменен-

* Более подробные сведения о способах улучшения технологичности деталей и узлов машин приведены в [7].

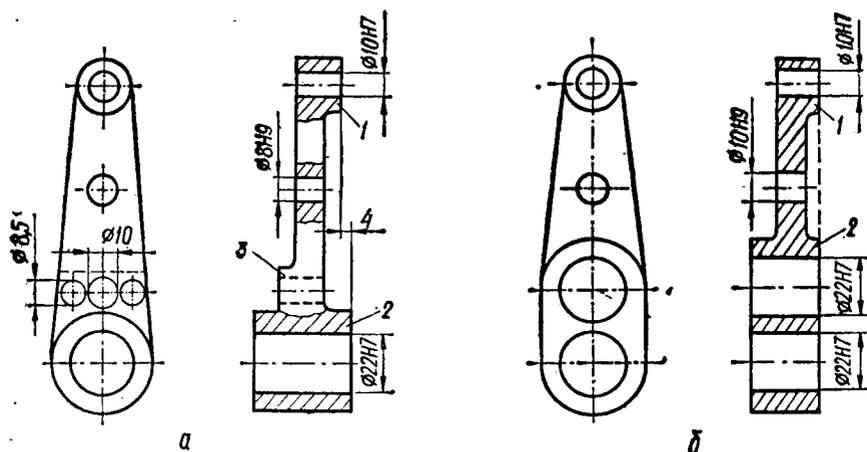


Рис. 4. Конструкция рычага:
а — до изменения; *б* — после изменения.

ной конструкции простого рычага одного автомата для улучшения его технологичности показан на рис. 4. Первоначально (рис. 4, *а*) рычаг имел два отверстия с точными допусками (диаметрами 22Н7 и 10Н7) и четыре отверстия диаметрами 10, 8Н9, 8,5. Требовалась раздельная обработка бобышек 1 и 2 и фрезерование уступа 3. При изменении конструкции уменьшилась трудоемкость обработки рычага и не повысилась трудоемкость обработки сопрягаемых с ним деталей (табл. 3).

Показателем технологичности считают также степень унификации, нормализации и стандартизации форм и размеров деталей. Чем больше в конструкции стандартных, нормальных и унифицированных элементов и деталей, тем технологичнее эта конструкция.

Таблица 2. Затраты на подготовку специального инструмента

Конструктивный элемент	Затраты на технологическую подготовку, ч	Затраты на изготовление инструмента, руб.
Отверстие 7-го качества диаметром 30—40 мм	20	45,0
Резьбовая пара М16 + М20	260	280,0
Шлицевая пара (вал и втулка) $z \times d \times D = 8 \times 52 \times 60$	280	497,0

Таблица 3. Зависимость трудоемкости обработки от технологичности конструкции

Рисунок	Количество отверстий	Диаметр сверла, мм	Бобышки 1, 2	Уступ 3
4, <i>а</i>	6	7,7; 8,5; 9,7; 19,5	Раздельная подрезка Фрезерование с одной установки	Фрезерование есть Фрезерования нет
4, <i>б</i>	4	9,7; 19,5		

Желательно, чтобы в конструкции было как можно меньше различных размеров внутренних и наружных диаметров, различных посадок, резьб, зенкованных отверстий и т. п. Необходимо сокращать количество типоразмеров таких нормальных и стандартных деталей, как болты, винты, гайки, шайбы, штифты, детали гидросистем и т. п.

Если машины изготавливаются различных типоразмеров, то в них должно быть как можно больше одинаковых деталей, нормальных узлов (насосов, муфт, подшипниковых узлов и пр.).

В плановом социалистическом хозяйстве унификация и стандартизация возможна не только в пределах одного завода, но и в пределах отрасли, нескольких отраслей промышленности и даже в пределах нескольких стран. В данное время проводится, например, унификация ряда изделий в социалистических странах, входящих в состав Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ). Унификация и стандартизация изделий позволяет значительно сократить в производстве количество типоразмеров инструментов всех видов, удешевить и упростить производство. При правильной постановке унификации, нормализации и стандартизации на заводах проводится строгий нормализационный контроль всех узловых и рабочих чертежей.

Как показал опыт, улучшением технологичности изделий за счет использования всех перечисленных выше средств можно снизить трудоемкость изготовления машины на 20—25 %.

Технологичность конструкций оценивается по ГОСТ 14.202—73 показателями двух видов:

а) качественными, с помощью которых можно сравнить приближенно технологичность двух или нескольких конструкций;

б) количественными (трудоемкостью или технологической себестоимостью), дающими возможность объективно и достаточно точно оценить технологичность сравниваемых конструкций.

Например, коэффициент повторяемости

$$K_{пов} = \frac{Q_1}{Q},$$

где Q_1 — количество ранее освоенных деталей; Q — количество всех деталей в машине.

Этот коэффициент может иметь различные значения, например в авиамоторостроении при изготовлении поршневых двигателей он достигал 0,4—0,7;

коэффициент стандартизации

$$K_{ст} = \frac{Q_2}{Q},$$

где Q_2 — количество унифицированных, нормальных и стандартных деталей, в среднем $K_{ст} = 0,27 \div 0,35$ для серийного производства;

коэффициент использования материала

$$K_{и.м} = \frac{M_1}{M},$$

где M_1 — чистая масса детали; M — норма расхода материала.

В среднем $K_{н.м} = 0,4 \div 0,5$ для серийного, $K_{н.м} = 0,6 \div 0,7$ для массового производства;

коэффициент трудоемкости сборки

$$K_{сб} = \frac{T_{сб}}{T},$$

где $T_{сб}$ — трудоемкость сборки; T — трудоемкость механической обработки.

В массовом производстве $K_{сб} \approx 0,25 \div 0,3$; в серийном $K_{сб} = 0,3 \div 0,6$; в тяжелом машиностроении (производство турбин, крупных воздуходувок, компрессоров и т. п.) $K_{сб} = 0,9 \div 1,0$.

Наилучшие результаты оценки технологичности по трудоемкости или себестоимости получают при точном расчете технических норм времени на изготовление деталей и сборку машин. Однако этот метод оценки весьма трудоемок (см. табл. 5). Поэтому чаще применяют методы приближенной оценки по укрупненным данным.

Тип производства различают в зависимости от количества продукции, выпускаемой предприятием в единицу времени. Комплексные технологические процессы должны разрабатываться в зависимости от типа производства и предполагаемого масштаба выпуска изделий. Оборудование, оснастка и организация производства каждого типа различны. Чем больше масштаб выпуска, тем меньше следует применять универсальные станки, а больше специальные, агрегатные, полуавтоматы, автоматы и автоматические линии. Границы применения станков того или иного типа определяются экономическим расчетом.

По ГОСТ 3.1108—74 устанавливаются четыре типа производств — единичное, мелкосерийное, среднесерийное, массовое и крупносерийное. Тип производства характеризуется коэффициентом закрепления операций, принимаемым для планового периода, равного одному месяцу:

$$K_{з.о} = \frac{0}{P}.$$

где 0 — число операций, P — число рабочих мест.

Установлены следующие значения коэффициентов:

$20 < K_{з.о} < 40$ — мелкосерийное производство,

$10 < K_{з.о} < 20$ — среднесерийное производство,

$1 < K_{з.о} < 10$ — массовое и крупносерийное производство.

Для единичного производства $K_{з.о}$ не регламентируется.

Эти коэффициенты можно определить после разработки технологических процессов. До разработки для определения серийности производства следует пользоваться рекомендациями профессора М. Е. Егорова, приведенными в [7]. Четко разграничить разновидности серийного производства не всегда возможно, так как они характеризуются не только количеством одинаковых изделий, но также их размерами и трудоемкостью. Серийное производство может быть также смешанного типа, при котором одни детали изготавливаются крупными сериями, другие — средними или даже мелкими. В таких случаях тип производства определяется преобладающей разновидностью.

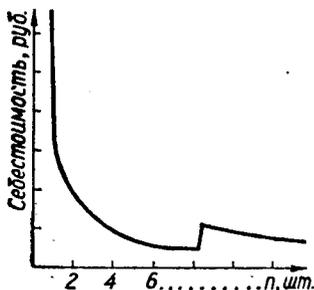


Рис. 5. Кривая зависимости себестоимости изделия от величины партии.

Кроме количественных различий, между основными типами производства имеются существенные качественные различия, относящиеся к применяемому оборудованию, технологической оснастке, методам обработки, организации производства и технологической подготовке его.

В единичном производстве каждое изделие изготавливается в одном или в нескольких экземплярах. Заводы, предназначенные для единичного производства, имеют обычно широкую номенклатуру изделий. Однако некоторые заводы тяжелого машиностроения, изготавливающие

крупные уникальные машины в небольшом количестве, а также экспериментальные заводы являются заводами с единичным производством. В единичном производстве применяют станки общего назначения, универсальные и нормальные приспособления, нормальные и стандартные инструменты, используемые при обработке деталей различной конфигурации и назначения. Специальную оснастку применяют лишь в тех случаях, когда без нее невозможно получить продукцию требуемого качества.

Отсутствие или малое количество специальных приспособлений приводит к тому, что на установку, выверку и крепление деталей на столах станков затрачивается много времени. Кроме того, для обработки деталей без специальной оснастки требуются рабочие высокой квалификации. Поэтому в единичном производстве производительность труда ниже, чем в серийном и массовом, а себестоимость продукции выше.

В серийном производстве машины изготавливают сериями, а детали запускаются в производство партиями. Серийное производство распространено во многих отраслях машиностроения. Как показали наблюдения, качество изготовления деталей повышается при большой повторяемости операций на рабочих местах. При этом повышается и производительность труда. Опытным путем установлена гиперболическая зависимость себестоимости изделия от количества деталей n в партии (величины партий). Как видно из графика (рис. 5), в серийном производстве выгодно увеличивать величину партий. Однако, начиная с определенной величины партии, себестоимость деталей может возрасти из-за увеличения расходов на хранение, ввода дополнительной дорогой оснастки или оборудования и пр. Поэтому экономический расчет выгоды применения различных партий необходим при условии выполнения заданной программы. При заданном объеме выпуска изделий в единицу времени (например, в месяц) партии деталей для обработки выбирают так, чтобы обеспечить сборку в последующем месяце и иметь небольшой запас деталей на складе. Мелкие дешевые детали изготавливают в количествах, обеспечивающих трех- или четырехмесячную программу выпуска. Размер партий можно повысить за счет унификации и нормализации деталей и группового запуска в производство деталей со сходными эле-

ментами обработки. Унификация и нормализация деталей создает предпосылки для создания поточного производства и в серийном машиностроении. Групповой запуск значительно улучшает организацию серийного и единичного производства и повышает производительность труда.

Серийное производство характеризуют следующие показатели:

- 1) более четкая специализация предприятия по выпуску определенных машин;
- 2) относительно небольшая номенклатура изделий;
- 3) частичное применение специальных и специализированных станков (автоматов, полуавтоматов, агрегатных станков и т. п.);
- 4) применение станков и обрабатывающих центров с программным управлением;
- 5) применение станочных и сборочных приспособлений, а также специальных инструментов. Применение универсально-сборочных приспособлений (УСП).

Крупносерийное производство по характеру применяемого оборудования и организации производственного процесса приближается к массовому. В крупносерийном производстве экономически выгодно применять поточные линии из агрегатных, специальных и специализированных станков, а также переналаживаемых автоматических линий, составленных из станков общего назначения.

Массовое производство характеризуется большими масштабами выпуска одинаковых изделий с определенно выраженной специализацией завода при малой номенклатуре изделий. Изделия выпускаются только одного типа (например, автомобили), иногда даже одного типоразмера. Применяются высокопроизводительные специальные станки, предназначенные для выполнения одной какой-либо операции по обработке определенной детали, а также специализированные станки и группы станков (автоматы, полуавтоматы и автоматические линии), настраиваемые на обработку большого количества одинаковых деталей. В значительно большем количестве, чем в серийном производстве, применяются специальные приспособления и инструменты. Обработка и сборка деталей выполняется на основе поточного производства, с непрерывным или прерывным перемещением деталей или сборочных единиц от операции к операции.

Оснащенность технологического процесса — это степень насыщения процесса нормальными и специальными режущими, мерительными и вспомогательными инструментами, нормальными и специальными приспособлениями, штампами, кокилями, металлическими моделями и т. п. Положительное влияние оснащенности на качество и себестоимость продукции весьма значительно. Хорошая оснащенность технологического процесса способствует также повышению производительности труда.

Практика определила примерные, экономически оправдываемые границы оснащенности для различных производств.

Оценка оснащенности производится по коэффициентам:

$$\eta_1 = \frac{b_1}{b}; \quad \eta_2 = \frac{b_2}{b}, \quad (3)$$

где b_1 — количество наименований специальных приспособлений и инструментов; b_2 — количество наименований специальных приспособлений, инструментов, штампов, металлических моделей, кокилей и т. п.; b — количество наименований оригинальных деталей в машине.

Примерные значения коэффициентов η для среднего машиностроения следующие:

Производство	η_1
Единичное	0,02—0,08
Мелкосерийное	0,1—0,4
Среднесерийное	0,4—0,8
	η_2
Крупносерийное	0,8—1,5
Массовое	2,5—10

Таким образом, для машины, имеющей $b = 500$ оригинальных деталей, в мелкосерийном производстве согласно формуле (3) $b_1 = (0,1 \div 0,4) 500 \approx 50 \div 200$, а для массового производства $b_2 = 500 (2,5 \div 10) \approx 750 \div 5000$ наименований оснастки.

В ряде случаев даже в мелкосерийном производстве нельзя обойтись без специальных приспособлений или инструментов, которые необходимы для обработки какой-либо одной детали или для выполнения какой-либо одной операции. Например, при растачивании барабанов многошпиндельных автоматов и полуавтоматов даже для изготовления опытных экземпляров требуется специальное расточное приспособление, так как иначе нельзя достичь точных расстояний между осями отверстий, которые должны быть выполнены в пределах допуска $\pm 0,01$ мм.

Экономичность применения приспособления определяют так.

Обозначим: C_1 — стоимость обработки без приспособления; C_2 — стоимость обработки с приспособлением.

Условие выгодности применения приспособления будет выражаться неравенством

$$C_2 \leq C_1. \quad (4)$$

Считая для упрощения, что накладные расходы неизменны, стоимость обработки в каждом случае будет такой:

$$C_1 = Z_1 t_1 (1 + q); \quad (5)$$

$$C_2 = Z_2 t_2 (1 + q) + \frac{C_n}{nK}, \quad (6)$$

где t_1, t_2 — калькуляционное время обработки соответственно без приспособления и с приспособлением; Z_1, Z_2 — заработная плата в единицу времени при работе соответственно без приспособления и с приспособлением; q — коэффициент накладных расходов; C_n — стоимость приспособления; n — количество лет использования приспособления (обычно 3—4); K — количество деталей в год, обрабатываемых с приспособлением.

Подставив значения величин C_1 и C_2 из уравнений (5) и (6) в неравенство (4), получим

$$Z_2 t_2 (1 + q) + \frac{C_n}{nK} \leq Z_1 t_1 (1 + q). \quad (7)$$

Из этого неравенства можно определить, какова должна быть примерно стоимость приспособления, если известны (заданы) величины t_1 , t_2 , Z и другие:

$$C_n \leq (1 + q)(Z_1 t_1 - Z_2 t_2) nK.$$

Если известна стоимость приспособления, то из последней формулы можно определить, сколько деталей следует на нем обработать, чтобы оно окупилось за принятое время использования:

$$K = \frac{C_n}{(1 + q)(Z_1 t_1 - Z_2 t_2) n}.$$

Аналогичные уравнения можно составить для сравнения стоимости обработки с приспособлениями одного назначения, но разных конструкций (при сопоставлении вариантов обработки). Обозначим варианты величин индексами 1, 2. Приняв условие выгодности (4), получим

$$Z_2 t_2 (1 + q) + \frac{C_{n_2}}{nK} \leq Z_1 t_1 (1 + q) + \frac{C_{n_1}}{nK},$$

откуда допустимая стоимость второго приспособления

$$\text{или } C_{n_2} \leq \left[Z_1 t_1 (1 + q) + \frac{C_{n_1}}{nK} - Z_2 t_2 (1 + q) \right] nK,$$

$$C_{n_2} \leq [(1 + q)(Z_1 t_1 - Z_2 t_2)] nK + C_{n_1},$$

т. е. при введении нового приспособления должна окупиться и стоимость старого приспособления.

В общем случае даже небольшая выгода от применения приспособления может быть основанием для заказа его, так как обработка в приспособлении при всех условиях повышает точность обработки, сокращает время обработки и дает возможность выполнять операцию рабочему с невысокой квалификацией.

Однако цикл проектирования и изготовления специальных приспособлений довольно длителен. Поэтому для единичного, мелкосерийного и среднесерийного производства большое значение имеют универсально-сборные приспособления (УСП) (рис. 6). Их собирают из стандартных деталей по чертежу обрабатываемой детали за 2—3 ч. После использования приспособление разбирают на составные части, которые в дальнейшем можно использовать многократно. Несмотря на большие первоначальные затраты, УСП экономически оправданы вследствие значительного снижения расходов на подготовку производства и изготовление приспособлений.

Экономические факторы также влияют на себестоимость продукции. Не-

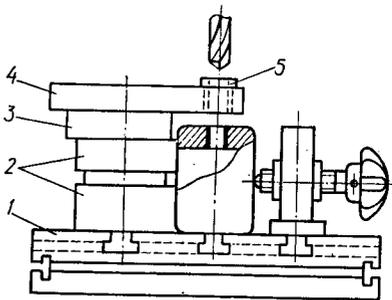


Рис. 6. Универсально-сборное приспособление для сверления отверстий:

1 — базовая плита; 2 — опорные детали; 3 — направляющая деталь; 4 — планка под кондукторные втулки; 5 — кондукторная втулка.

которые из них прямо связаны с технологией производства или зависят от нее. Например:

а) стоимость материалов и заготовок зависит от размеров и рода заготовок и количества отходов;

б) цикл производства зависит от технологического маршрута и определяет оборачиваемость оборотных средств;

в) квалификация рабочих и величина заработной платы зависят от методов производства и оснащенности технологического процесса;

г) величина наклонных расходов в различных цехах зависит от выбранного оборудования.

§2. ОСНОВЫ ТИПИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Во время выполнения первых пятилетних планов развития народного хозяйства нашей страны проектировалось и осваивалось огромное количество новых машин. Росла номенклатура и увеличивалось конфигурационное разнообразие деталей машин. Для изготовления их разрабатывалось большое количество самых разнообразных технологических процессов. Для выпуска продукции только в одном механическом цехе среднего машиностроительного завода надо было наметить и рассчитать процессы на десятки тысяч переходов. Для этого требовалось много технологов, которые проектировали процессы на основе своего личного опыта и могли давать разные решения при обработке однотипных деталей. Это приводило к возрастанию номенклатуры и количества инструмента в цехах, разнообразию применяемого оборудования и различной оплате одинаковых работ.

Для устранения описанных недостатков, упрощения, ускорения и удешевления разработки технологических процессов проф. А. П. Соколовский в 1938 г. выдвинул идею типизации технологических процессов на основе классификации деталей по конфигурации и размерам. Из огромной номенклатуры изготавливаемых деталей машин можно подобрать ряд подобных по форме и размерам деталей, для которых можно разработать примерно одинаковую оптимальную технологию изготовления. На ряде заводов были организованы цехи, участки, пролеты по производству однотипных деталей по типовым технологическим процессам. Такая организация способствовала внедрению поточного производства и создавала предпосылки для автоматизации серийного производства.

Первоначально А. П. Соколовский предложил классификацию деталей, состоящую из 15 основных классов (валы, втулки, диски, эксцентриковые детали, крестовины, рычаги, плиты, шпонки, стойки, угольники, бабки, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали). На машиностроительных заводах можно и сейчас встретить производственные участки, организованные в соответствии с этой классификацией (пролеты валов, втулок, зубчатых колес, рычагов и пр.).

В дальнейшем классификацию переработал проф. Ф. С. Демьянюк. Он уменьшил количество классов, потому что у некоторых типов деталей есть много общих черт (например, объединены классы дисков

и зубчатых колес; классы стоек, бабок, угольников объединены с классом корпусных деталей и т. д.). В соответствии с утвержденной программой изучение комплексных типовых технологических процессов в данном курсе производится на основе классификации, разработанной Ф. С. Демьянюком.

Согласно этой классификации установлено семь классов, по которым детали машин разделяются по форме и сходству процессов их изготовления на корпусные детали; круглые стержни; полые цилиндры; диски; некруглые стержни; небольшие детали сложной формы; крепежные детали.

Ввиду большого разнообразия деталей машин классификация пока не может охватить детали всех встречающихся форм. Поэтому целесообразно ввести 8-й класс — специальные детали, которые по форме значительно отличаются от деталей, охватываемых общей классификацией, и обрабатываются по особой технологии.

К классу «корпусные детали» относятся все литые или сварные детали коробчатой формы, а также детали типа станин, стоек, плит, угольников, крышек, кронштейнов, блоков цилиндров, барабанов многошпиндельных автоматов и т. п.

В класс «круглые стержни» входят все детали типа валов, осей, штоков, штанг, труб, шпинделей, кулачковых валов, ходовых винтов, валов-шестерен.

Класс «полые цилиндры» включает в себя втулки всевозможных конфигураций, а также гильзы, стаканы, цилиндры гидро- и пневмо-систем и т. п.

В класс «диски» включают все детали, имеющие форму диска, а также шкивы, маховики, фланцы, корпуса муфт, кольца, зубчатые колеса (цилиндрические, конические, червячные) и т. п.

К классу «некруглые стержни» относятся стержни, поперечное сечение которых имеет некруглую форму (рычаги всех видов, шатуны кривошипных механизмов, балки, кривые стержни и др.).

К классу «небольшие детали сложной формы» относятся небольшие штампованные и литые детали различной формы (корпусы небольших узлов, фасонные кулачки, тройники, штуцеры, угольники и пр.).

В класс «крепежные детали» включают такие детали, как болты, гайки, шпильки, штифты, шпонки и т. п.

В класс «специальные детали» следует внести такие детали сложной конфигурации, как коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, прессов, лопатки паровых и газовых турбин, поршни двигателей внутреннего сгорания и другие сложные и точные детали.

Разработанные типовые технологические процессы обработки однотипных деталей определяют направления процесса, ориентируясь на которые заводской технолог может разработать конкретный технологический процесс с учетом имеющегося оборудования, инструментов, способов производства заготовок и пр.

Типовой технологический процесс обычно составляют на наиболее сложную деталь определенного класса или группы. Более простые

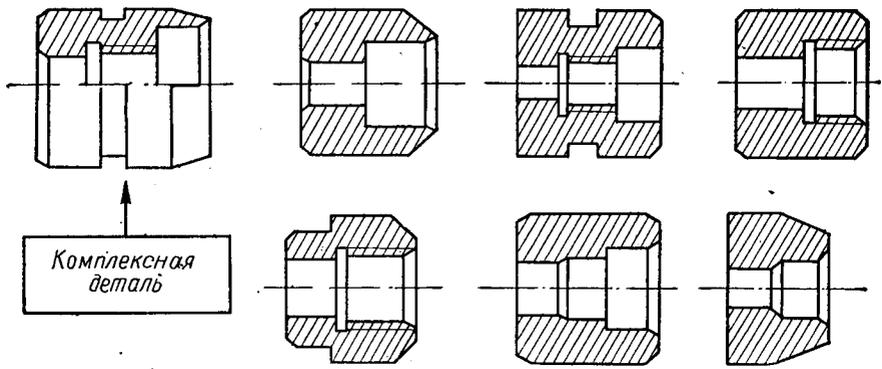


Рис. 7. Комплексная деталь и представляемые ею простые детали.

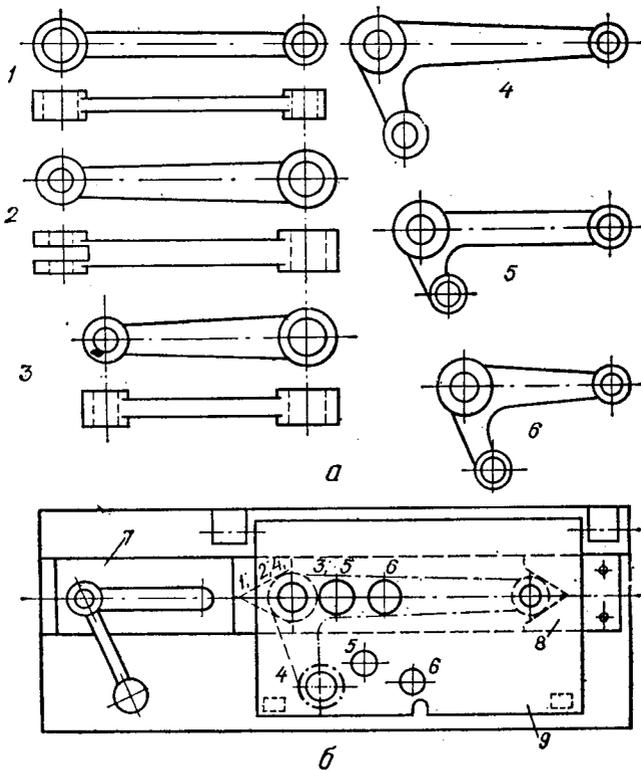


Рис. 8. Приспособление для групповой обработки на сверлильном станке:

a — обрабатываемые детали 1 + 6; *b* — приспособление; 7, 8 — подвижная и неподвижная призмы; 9 — откидная крышка.

детали можно обрабатывать примерно по тому же технологическому маршруту, за исключением операций, которые не надо выполнять.

Разработаны типовые процессы обработки ступенчатых валов, шпинделей станков, втулок, деталей подшипников, зубчатых колес, шлицевых валов, ходовых винтов, некоторых видов рычагов, турбинных лопаток и др. По мере развития технологии типовые процессы необходимо уточнять и совершенствовать.

Кроме типовых процессов обработки деталей различных классов, можно разрабатывать типовые процессы обработки сложных поверхностей. Например, имеются типовые процессы по обработке деталей на расточных станках. Элементами типизации в этом случае являются форма и расположение отверстий (в одной стенке, в двух стенках и т. д.), форма и расположение прилегающих к отверстиям бобышек и зенкованных отверстий. На основе классификации устанавливают типовую последовательность обработки отверстий, межоперационные припуски и допуски на припуски, типовые наборы инструментов и рекомендуемые режимы резания.

На основе детальной классификации * обрабатываемых поверхностей различных деталей разработан метод групповой обработки деталей машин. Для групп разнообразных деталей применяют единый технологический процесс, общую настройку станка, одни и те же приспособления со сменными частями. При этом обеспечивается и постоянство приемов обработки. Например, при фрезеровании какого-либо паза одной ширины можно делать это на деталях различной формы, но одним инструментом. Нужны только сменные части к приспособлению для зажима деталей различной формы.

Иногда для обобщения особенностей форм деталей, входящих в ту или иную группу и обрабатываемых на одних и тех же станках, составляют чертеж обобщенной, или комплексной, детали (рис. 7). Типовой технологический процесс разрабатывают для обработки комплексной детали. При обработке других деталей группы ненужные операции из процесса исключают. Приспособление, предназначенное для закрепления нескольких различных деталей группы, показано на рис. 8.

При методе групповой обработки повышается производительность труда рабочего, улучшается использование станка по времени, снижаются затраты на технологическое оснащение и на подготовку производства. Раньше детали группировали вручную подбором чертежей. В настоящее время для этого применяют вычислительные машины.

§3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Опыт организации изготовления машин показал, что наименьшие затраты бывают при поточном методе производства. Поточные методы вначале были характерны для массового и крупносерийного производства, а сейчас их начинают применять в серийном, мелкосерийном и даже в единичном производстве. Поточный метод позволяет

* Предложена проф. С. П. Митрофановым [11].

сократить производственный цикл, снизить трудоемкость и себестоимость продукции, увеличить выпуск продукции с единицы производственной площади. При поточном производстве упрощается его планирование и учет.

Необходимыми предпосылками разработки поточного или поточно-автоматизированного производства являются:

- 1) взаимозаменяемость узлов и деталей производимой машины;
- 2) технологичность обрабатываемых деталей применительно к проектируемому или наличному составу оборудования;
- 3) рентабельный масштаб поточного выпуска машин;
- 4) правильный расчет загрузки оборудования по такту.

Такт выпуска машины определяют при проектировании поточного производства в соответствии с заданной программой. Такт выпуска детали с поточной линии должен быть равен такту выпуска машины со сборки, если изготавливают одну деталь на машину. При изготовлении нескольких однотипных деталей на одну машину такт выпуска деталей с поточной линии должен быть кратным такту выпуска машины со сборки. Соответственно длительность отдельных операций должна быть равна или кратна такту выпуска деталей с поточной линии.

При проектировании поточного производства различают два случая: 1) проектируется новый завод; 2) организуется поточное производство на действующем заводе. В обоих случаях необходимо выбрать соответствующие последовательность и способы обработки деталей.

Выбор последовательности обработки следует осуществлять при прохождении деталей по цехам и внутри отдельных цехов. От выбранной последовательности обработки зависят направление и величина грузопотоков, а также величина транспортных расходов. Если последовательность обработки выбрана неудачно, возрастают транспортные расходы и цикл производства.

Расположение цехов, предопределяемое при проектировании новых заводов величиной и направлением грузопотоков, на генеральном плане должно быть наиболее рациональным. При организации поточного производства на действующем заводе направление грузопотоков между цехами в значительной мере определяется существующим расположением цехов.

Общим и главным принципом разработки технологического маршрута прохождения деталей по цехам служит принцип возможно большего сокращения технологического маршрута при наименьшем пробеге деталей между цехами.

Схема связей цехов завода средней величины показана на рис. 9. Как видно из этой схемы, по пути в сборочный цех заготовки и детали могут делать двойные пробеги между цехами, например, из механического в термический, из холодно-штамповочного через механический цех — в цех покрытий и т. п.

При проектировании межцехового маршрута детали надо избегать лишних пробегов. Следовательно, должно быть выдержано условие

$$\sum_1^n q_i \sum_1^m l_j \rightarrow \min; \quad \begin{matrix} i = 1; 2; \dots; n; \\ j = 1; 2; \dots; m; \end{matrix}$$

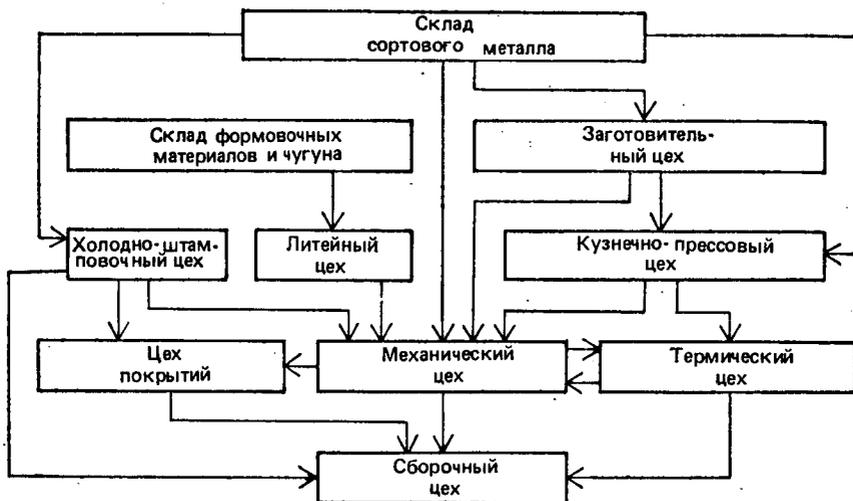


Рис. 9. Схема связей производственных цехов машиностроительного завода.

где q_i — масса отдельных деталей, заготовок или материала, транспортируемых между цехами; l_j — длина отдельных путей между цехами.

Это так называемая «транспортная задача», которая решается методами линейного программирования.

Проектируя последовательность обработки отдельных деталей внутри цеха, в первую очередь следует позаботиться о наименьшем пробеге деталей между операциями. Затем необходимо придерживаться следующих правил:

1) предусмотреть поставку в механические цехи обрубленного, очищенного и загрунтованного литья, очищенных от окалины поковок и штамповок;

2) снять, по возможности, всю лишнюю стружку в заготовительных цехах. В механических цехах выполнять только получистовые, чистовые и отделочные операции;

3) на первых операциях создать надежные технологические ба- вы для последующих операций;

4) на операциях, где снимается много металла, применять наиболее производительные станки, например, токарно-карусельные, продольно-фрезерные, обдирочно-шлифовальные и т. п.;

5) создать, по возможности, поточное движение деталей в цехе в одном направлении. Для осуществления этого в первом приближении следует придерживаться следующего порядка обработки:

а) тяжелые детали коробчатой формы на первых операциях в массовом, крупносерийном и серийном производстве обрабатывают на фрезерных и продольно-фрезерных, длинные детали в мелкосерийном и единичном производстве — часто на строгальных станках. Детали с плоскими поверхностями и небольшими литейными припусками на обработку в некоторых случаях рационально обрабатывать на обдирочно-шлифовальных станках. Детали, имеющие форму диска

или цилиндра, обрабатывают вначале на карусельных станках, затем на радиально-сверлильных, расточных, плоскошлифовальных и других шлифовальных станках;

б) при обработке средних деталей (не тел вращения) намечать на первых операциях обработку на фрезерных, сверлильных, затем — на расточных и шлифовальных станках;

в) легкие детали обрабатывать последовательно на фрезерных, сверлильных и шлифовальных станках;

г) при обработке тел вращения на первых операциях применять токарные, револьверные станки, полуавтоматы и автоматы в соответствии с типом производства. Намеченный порядок обработки не всегда может быть выдержан, в ряде случаев при разработке технологии возникает необходимость возврата деталей на предыдущие рабочие места. Но в общем при расстановке оборудования в указанном порядке получается более или менее поточное движение деталей.

В массовом и крупносерийном производстве оборудование расставляется по потоку, причем рекомендуется включать в поток все операции по ходу технологического процесса, как например, термическую обработку с нагревом ТВЧ, слесарные и контрольные операции. В серийном и мелкосерийном производстве более или менее удается выдержать принцип поточности только при расстановке механического оборудования.

Технологическая подготовка производства при использовании станков с программным управлением и, в частности, при использовании обрабатывающих центров существенно изменяется.

При обычных условиях серийного производства необходимые для производства оснастку и режимы резания вносят в технологические карты. Однако в процессе обработки деталей рабочий может кое-что изменять по своему усмотрению.

При комплексной поточной обработке некоторых деталей на станках с программным управлением, снабженных револьверной головкой, на обрабатывающих центрах с программным управлением и на обрабатывающих центрах с адаптивным (самонастраивающимся) управлением изменение технологии в процессе обработки исключается.

При обработке на станках с программным управлением все режущие и вспомогательные инструменты, средства закрепления деталей и режимы резания определяются точно и должны быть точно осуществлены при настройке станка. Кроме того, следует точно определить все движения стола с деталью (продольные, поперечные и вертикальные), последовательность поворота револьверной головки, движений загрузочно-разгрузочных механизмов для смены инструментов, последовательность поворота магазина с инструментами и пр.

Выбор способов обработки. Вследствие большого разнообразия деталей и технологических процессов дать исчерпывающие правила выбора способов обработки для деталей всех типов невозможно.

Однако, намечая способы обработки, можно руководствоваться следующими общими принципами проектирования технологических процессов:

Таблица 4. Приемы и средства повышения производительности труда при механической обработке

Быстродействующие зажимы	Многоступенчатый инструмент	Одновременная обработка многими инструментами
Цанговые Эксцентровые Пневматические, гидравлические зажимы и патроны Магнитные, электромагнитные патроны и плиты Вакуумные патроны	Ступенчатые зенкеры и сверла Многорезцовые державки Пустотельные фрезы Протяжки и прошивки Винторезные головки Фасонные фрезы Фасонные шлифовальные круги	Наборы фрез Многошпиндельные головки Многорезцовые державки Наборы шлифовальных кругов Обработка на нескольких шпинделях
Быстросменные патроны, инструментальные головки и бесподъёмная оснастка	Непрерывный подвод деталей к инструментам	Скоростная обработка
Патроны с быстросменными втулками для токарных, сверлильных, расточных и резьбонарезных станков Сменные револьверные головки Сменные комплекты инструментов Магазины инструментов	Вращающимися столами Поворотными приспособлениями Барабанными приспособлениями Магазинные устройства Вибробункеры	Точение Строгание Фрезерование Нарезание резьбы Сверление Зубонарезание Шлифование

1. Необходимо выбирать наиболее прогрессивные способы обработки, ориентируясь на имеющееся на заводе оборудование или на новое оборудование, которое может быть получено к моменту внедрения запроектированной технологии (в особенности это касается внезаводских проектных организаций). Если это правило не соблюдать, на заводе приходится разрабатывать новую, «обходную», технологию, что удлиняет время освоения производства и вызывает лишние расходы.

2. Тип станка следует выбирать в соответствии с размерами выпускаемых деталей. Например, для обработки одних и тех же деталей в единичном и мелкосерийном производстве можно выбрать универсальный токарный станок, в серийном — токарно-револьверный, в крупносерийном — токарный автомат или полуавтомат, в массовом — многошпиндельный автомат.

3. Оборудование необходимо подбирать по размерам в соответствии с габаритными размерами обрабатываемых деталей.

4. Степень точности станка должна соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к детали или заготовке. Нельзя грубую обработку выполнять на точном станке или точную деталь обрабатывать на неточном станке.

5. Способ изготовления заготовки следует выбирать так, чтобы форма заготовки была возможно ближе к форме готовой детали и заготовка имела минимально возможные припуски на обработку.

6. По возможности следует уменьшать и устранять механическую обработку, применяя точные заготовки и прогрессивные способы обработки, но заменять, где возможно, ручную обработку механической.

7. Необходимо всегда учитывать изменения в технике обработки.
8. По возможности уменьшать вспомогательное время обработки.
9. При проектировании любого технологического процесса искать средства повышения производительности труда.

Приемы повышения производительности труда и совмещения операций при обработке деталей приведены в табл. 4.

К приемам по пп. 8 и 9 необходимо добавить, что выполнению их способствует также применение автоматических манипуляторов (роботов) для загрузки заготовок на станок, разгрузки их после окончания операции и перемещения между станками.

Приведенные приемы используют и при проектировании комплексных технологических процессов.

Приемами повышения производительности обработки, которые можно отнести к процессу в целом, являются: дифференциация и концентрация обработки и их комбинирование.

Дифференциация обработки — это разделение операций на простейшие и выполнение их на отдельных простых станках или разделение операций на простейшие и последовательное выполнение их на многопозиционных станках и в обрабатывающих центрах.

Концентрация обработки — это совместная обработка одновременно несколькими однородными или разнородными инструментами: на многошпиндельных полуавтоматах и автоматах с многоинструментными державками, на агрегатных сверлильных, расточных, фрезерных и шлифовальных станках, на многошпиндельных продольно-фрезерных станках, на многошпиндельных станках для непрерывного фрезерования.

Примером комбинирования дифференциации и концентрации обработки может служить обработка на многопозиционных сверлильных станках с многошпиндельными головками. В этом случае операция разделена на простейшие переходы, но выполняются они одновременно многими инструментами. Применимость того или иного приема зависит от вида деталей, размеров выпуска и других производственных условий.

Наряду с применением общих приемов повышения производительности труда на отдельных операциях и с применением отдельных станков — полуавтоматов и автоматов, работающих с высокой концентрацией операций, в машиностроительной промышленности проводится комплексная автоматизация технологических процессов.

В настоящее время на большинстве крупных автомобильных, тракторных и других заводов работают автоматические линии станков. Имеются автоматические цехи по производству стандартных шариков и роликоподшипников, автоматический завод по производству автомобильных поршней и роботизированные заводы-автоматы. В автоматических производствах применены, главным образом, приемы комбинирования дифференциации и концентрации обработки.

Строение процесса обработки с определенными связями и сочетаниями основных и вспомогательных переходов называют структурой операции. Эти связи характеризуются составом оперативного времени. При этом различают однопоточные и многопоточные процессы. По-

точность характеризуется количеством одновременно работающих линий обработки, в которых детали обрабатываются одинаковыми инструментами. Примеры однопоточной и многопоточной обработки показаны на рис. 10.

Производительность процесса определяют по оперативному времени $t_{оп}$. Для однопоточного процесса

$$t_{оп} = t_o + t_b,$$

где t_o — основное технологическое время операции; t_b — несомещенное время, затрачиваемое на вспомогательные переходы.

Для многопоточного процесса

$$t_{оп} = \frac{t_o + t_b}{n}, \quad (8)$$

где n — количества потоков в операции.

В зависимости от структуры процесса величина $t_{оп}$ изменяется вследствие изменения вспомогательного времени t_b .

Структуру вспомогательного времени можно представить в виде суммы несомещенных времен:

$$t_b = t_n + t_y + t_x, \quad (9)$$

где t_n — время, затрачиваемое на подналадку инструментов; t_y — время установки и съема деталей; t_x — время холостых ходов.

Подставив значение t_b из формулы (9) в формулу (8), получим

$$t_{оп} = \frac{t_o + t_n + t_y + t_x}{n}. \quad (10)$$

Формула (10) отражает обычные условия обработки на универсальных станках.

Если t_n полностью совмещено с остальными элементами оперативного времени ($t_n = 0$), то формула (10) приводится к виду

$$t_{оп} = \frac{t_o + t_y + t_x}{n}. \quad (11)$$

Формулу (11) можно применять при обработке на настроенных станках по упорам или с приспособлением для активного контроля, автоматически измеряющим размеры детали.

При многопозиционном процессе (деталь устанавливается в одной позиции во время обработки на других позициях), когда

$$t_n = 0; \quad t_y = 0,$$

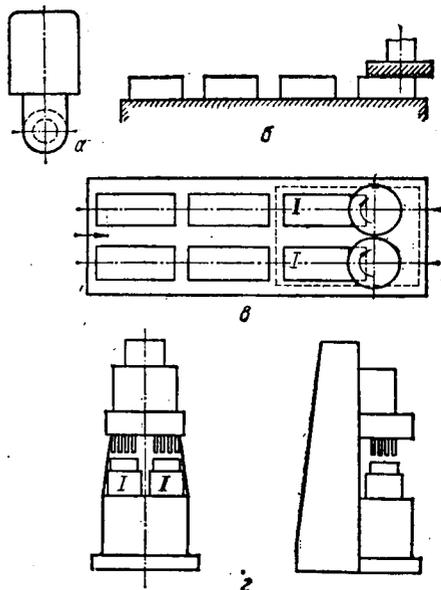


Рис. 10. К поточности обработки:
а, б — однопоточная обработка; в, г —
двухпоточная обработка; I, II — потоки.

формула (11) принимает вид

$$t_{\text{оп}} = \frac{t_0 + t_x}{n}. \quad (12)$$

Если процесс непрерывный, все элементы вспомогательного времени совмещены с основным, т. е.

$$t_u = 0; \quad t_y = 0; \quad t_x = 0,$$

то

$$t_{\text{оп}} = \frac{t_0}{n}.$$

При непрерывной обработке и тех же условиях, что и в предыдущем случае, когда $n = 1$,

$$t_{\text{оп}} = t_0,$$

т. е. оперативное время равно основному.

Наряду с концентрацией процессов механической обработки в промышленности и научно-исследовательских организациях ведется разработка новых высокопроизводительных и более экономичных технологических процессов, которые вытесняют, заменяют или в значительной мере уменьшают дорогую и трудоемкую обработку металлов резанием на станках.

Проектируя комплексные технологические процессы, всегда следует иметь в виду эти новые процессы, известные из смежных курсов. К высокопроизводительным процессам изготовления заготовок, уменьшающим механическую обработку, относятся: литье под давлением сплавов цветных металлов, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям, литье по испаряемым полистироловым моделям, корковое литье, холодная штамповка, точная горячая штамповка (чеканка), изготовление сварно-литых конструкций, изготовление деталей из профильного проката, прессование деталей из порошков, холодная высадка деталей, выдавливание деталей через фильеры (экструдинг-процесс), изготовление деталей из пластических масс и полимеров. Внедряются новые технологические процессы электрофизической обработки.

Эти процессы являются основой для разработки малоотходной или безотходной технологии.

Выбирая процесс механической обработки или заменяющие ее, необходимо оценивать экономичность выбранного варианта.

§4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Теоретические основы. Экономическую эффективность технологического процесса определяют по себестоимости изготавливаемой продукции в сравниваемых вариантах технологического процесса. Себестоимость изготовления некоторой партии изделий x за определенный период времени состоит из следующих составляющих:

- 1) расходов a , связанных с объемом производства;
- 2) расходов b , не связанных в определенных пределах с объемом производства.

Общая сумма затрат на производство заданного количества деталей x при данном технологическом процессе

$$C = ax + b.$$

Это — уравнение прямой линии. Если сравнить два любых варианта процесса, то получим

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= a_1x + b_1; \\ C_2 &= a_2x + b_2. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

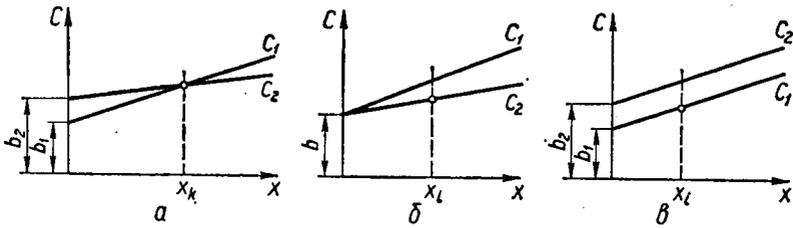


Рис. 11. Графики зависимостей себестоимостей изготовления партии изделия при различных технологических вариантах.

Если $b_2 > b_1$ и $a_1 > a_2$, то график этих уравнений приобретает вид, показанный на рис. 11, а.

Вследствие различных значений угловых коэффициентов a и начальных ординат b наклон прямых C_1 и C_2 на графике различен и прямые пересекаются в некоторой точке с абсциссой x_k .

Разность в затратах при обработке по обоим вариантам

$$C_1 - C_2 = (a_1x + b_1) - (a_2x + b_2).$$

В точке с абсциссой x_k разность $C_1 - C_2 = 0$, т. е.

$$a_1x_k + b_1 - a_2x_k - b_2 = 0,$$

откуда

$$x_k = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2}.$$

При $x < x_k$ выгоднее первый вариант, при $x > x_k$ — второй вариант.

Пользуясь уравнениями (13), можно проанализировать выгодность вариантов при различных затратах.

Пусть, например, $b_1 = b_2 = b$, т. е. затраты, не связанные с объемом производства, одинаковы. Тогда общие затраты при любом выпуске будут ниже во втором варианте (рис. 11, б).

Пусть $a_1 = a_2 = a$ и $b_2 > b_1$. В этом случае общие затраты при любом выпуске будут ниже в первом варианте (рис. 11, в). Проанализировать можно три и более варианта*.

Расходы, связанные с объемом производства, складываются из следующих величин:

$$a = M + z + Q, \quad (14)$$

где M — стоимость материала, руб.; z — заработная плата на партию деталей, руб.; Q — расходы, связанные с работой оборудования, руб.

Эти величины вычисляют так:

стоимость материалов, руб.,

$$M = \frac{\bar{c}P_1}{\eta}, \quad (15)$$

где \bar{c} — средняя стоимость 1 кг материала, руб.; P_1 — чистая масса деталей по чертежу, кг; η — коэффициент использования материала,

$$\eta = \frac{P_1}{P},$$

где P — норма расхода материала, кг;

* Подробно об экономическом обосновании вариантов технологических процессов сказано в [2].

$$z = \bar{z}_q \sum_1^n t_{k_i}, \quad (16)$$

где \bar{z}_q — средняя часовая заработная плата по цеху, руб./ч; $\sum_1^n t_{k_i}$ — сумма калькуляционных времен по изготовлению деталей, ч.

Чтобы вычислить расходы Q , связанные с работой оборудования, необходимо знать эксплуатационные расходы \mathcal{E} за определенный период времени t .

Эксплуатационные расходы состоят из амортизационных расходов, затрат на текущий ремонт оборудования, расходов на электроэнергию, расходов по износу нормального инструмента, расходов на вспомогательные материалы (ветошь, ремни, сшивка, масло и пр.), заработной платы вспомогательных рабочих по обслуживанию станка (шорника, электрика, слесаря-ремонтника).

Стоимость одного станко-часа работы оборудования, руб./ч:

$$C_0 = \frac{\mathcal{E}}{t}. \quad (17)$$

Расходы, связанные с работой оборудования,

$$Q = C_0 \sum_1^n t_{k_i}; \quad i = 1; 2; \dots; n. \quad (18)$$

Таким образом, развернутая формула для вычисления величины a после подстановки в формулу (14) значений величин из формул (15) — (18) будет иметь вид:

$$a = \frac{\bar{c}P_i}{\eta} + \bar{z}_q \sum_1^n t_{k_i} + \frac{\mathcal{E}}{t} \sum_1^n t_{k_i},$$

или

$$a = \frac{\bar{c}P_i}{\eta} + \left(\bar{z}_q + \frac{\mathcal{E}}{t} \right) \sum_1^n t_{k_i}. \quad (19)$$

Расходы, в определенных пределах не зависящие от объема производства, определяют по формуле, руб.,

$$b = Z_{п-з} + И, \quad (20)$$

где $Z_{п-з}$ — оплата подготовительно-заключительного времени;

$И$ — затраты на специальный инструмент и приспособления.

Величина b в определенных пределах не зависит от объема производства потому, что величины $Z_{п-з}$ и $И$ в этих пределах постоянны. Например, на приспособлении стоимостью $И$ можно обработать партию деталей 100 и 500 шт.; величина $Z_{п-з}$ будет одна. Для партий свыше 501—1000 шт. величина $Z_{п-з}$ другая. Поэтому может потребоваться другое приспособление стоимостью $И'$, дающее возможность работать более производительнее.

На действующих заводах все величины, входящие в формулы (19) и (20), вычислить нетрудно. Значения P_1 находят из рабочих чертежей деталей, η и \bar{z}_q есть в технологическом отделе, стоимость единицы массы

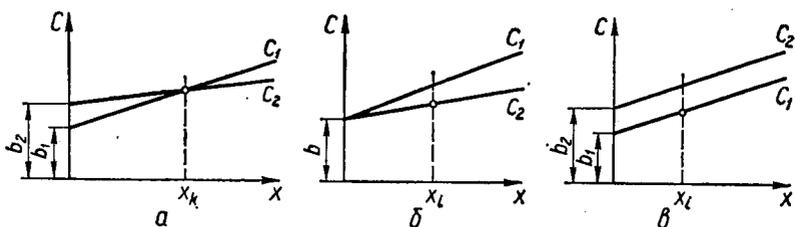


Рис. 11. Графики зависимостей себестоимостей изготовления партии изделия при различных технологических вариантах.

Если $b_2 > b_1$ и $a_1 > a_2$, то график этих уравнений приобретает вид, показанный на рис. 11, а.

Вследствие различных значений угловых коэффициентов a и начальных ординат b наклон прямых C_1 и C_2 на графике различен и прямые пересекаются в некоторой точке с абсциссой x_k .

Разность в затратах при обработке по обоим вариантам

$$C_1 - C_2 = (a_1x + b_1) - (a_2x + b_2).$$

В точке с абсциссой x_k разность $C_1 - C_2 = 0$, т. е.

$$a_1x_k + b_1 - a_2x_k - b_2 = 0,$$

откуда

$$x_k = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2}.$$

При $x < x_k$ выгоднее первый вариант, при $x > x_k$ — второй вариант.

Пользуясь уравнениями (13), можно проанализировать выгодность вариантов при различных затратах.

Пусть, например, $b_1 = b_2 = b$, т. е. затраты, не связанные с объемом производства, одинаковы. Тогда общие затраты при любом выпуске будут ниже во втором варианте (рис. 11, б).

Пусть $a_1 = a_2 = a$ и $b_2 > b_1$. В этом случае общие затраты при любом выпуске будут ниже в первом варианте (рис. 11, в). Проанализировать можно три и более варианта*.

Расходы, связанные с объемом производства, складываются из следующих величин:

$$a = M + z + Q, \quad (14)$$

где M — стоимость материала, руб.; z — заработная плата на партию деталей, руб.; Q — расходы, связанные с работой оборудования, руб.

Эти величины вычисляют так:

стоимость материалов, руб.,

$$M = \frac{\bar{c}P_1}{\eta}, \quad (15)$$

где \bar{c} — средняя стоимость 1 кг материала, руб.; P_1 — чистая масса деталей по чертежу, кг; η — коэффициент использования материала,

$$\eta = \frac{P_1}{P},$$

где P — норма расхода материала, кг;

* Подробно об экономическом обосновании вариантов технологических процессов сказано в [2].

$$z = \bar{z}_q \sum_1^n t_{k_i}, \quad (16)$$

где \bar{z}_q — средняя часовая заработная плата по цеху, руб./ч; $\sum_1^n t_{k_i}$ — сумма калькуляционных времен по изготовлению деталей, ч.

Чтобы вычислить расходы Q , связанные с работой оборудования, необходимо знать эксплуатационные расходы \mathcal{E} за определенный период времени t .

Эксплуатационные расходы состоят из амортизационных расходов, затрат на текущий ремонт оборудования, расходов на электроэнергию, расходов по износу нормального инструмента, расходов на вспомогательные материалы (ветошь, ремни, сшивка, масло и пр.), заработной платы вспомогательных рабочих по обслуживанию станка (шорника, электрика, слесаря-ремонтника).

Стоимость одного станко-часа работы оборудования, руб./ч:

$$C_0 = \frac{\mathcal{E}}{t}. \quad (17)$$

Расходы, связанные с работой оборудования,

$$Q = C_0 \sum_1^n t_{k_i}; \quad i = 1; 2; \dots; n. \quad (18)$$

Таким образом, развернутая формула для вычисления величины a после подстановки в формулу (14) значений величин из формул (15) — (18) будет иметь вид:

$$a = \frac{\bar{c}P_i}{\eta} + \bar{z}_q \sum_1^n t_{k_i} + \frac{\mathcal{E}}{t} \sum_1^n t_{k_i},$$

или

$$a = \frac{\bar{c}P_i}{\eta} + \left(\bar{z}_q + \frac{\mathcal{E}}{t} \right) \sum_1^n t_{k_i}. \quad (19)$$

Расходы, в определенных пределах не зависящие от объема производства, определяют по формуле, руб.,

$$b = Z_{п-з} + И, \quad (20)$$

где $Z_{п-з}$ — оплата подготовительно-заключительного времени;

$И$ — затраты на специальный инструмент и приспособления.

Величина b в определенных пределах не зависит от объема производства потому, что величины $Z_{п-з}$ и $И$ в этих пределах постоянны. Например, на приспособлении стоимостью $И$ можно обработать партию деталей 100 и 500 шт.; величина $Z_{п-з}$ будет одна. Для партии свыше 501—1000 шт. величина $Z_{п-з}$ другая. Поэтому может потребоваться другое приспособление стоимостью $И'$, дающее возможность работать более производительнее.

На действующих заводах все величины, входящие в формулы (19) и (20), вычислить нетрудно. Значения P_1 находят из рабочих чертежей деталей, η и \bar{z}_q есть в технологическом отделе, стоимость единицы массы

металла — в бухгалтерии и в плановом отделе. Для вычисления эксплуатационных расходов \mathcal{E} за определенный период времени можно получить данные в цеховой бухгалтерии и сделать несложные расчеты.

При проектных расчетах величину \mathcal{E} определяют по данным родственных заводов с высокой организацией технологического процесса, а величину $t_{ки}$ — по расчетам оптимальных или средних режимов резания.

Поскольку величина эксплуатационных расходов может быть отражена в накладных расходах, то для ориентировочных подсчетов себестоимости деталей можно использовать преобразованную формулу (19):

$$C = \frac{\bar{c}P_1}{\eta} + z_3(1+q) \sum_1^n t_{ки}; \quad i = 1; 2; \dots, n; \quad (21)$$

где \bar{c} — средняя стоимость 1 кг материала, руб.; P_1 — чистая масса деталей по чертежу, кг; η — коэффициент использования по данной группе материала; $\sum_1^n t_{ки}$ — суммарное калькуляционное время обработки (трудоемкость), ч; \bar{z}_3 — часовая заработная плата рабочего соответствующего разряда, руб.; q — коэффициент накладных расходов по механическому цеху:

$$q = \frac{H \%}{100};$$

H — накладные расходы механического цеха, % основной заработной платы.

Себестоимость машины по механической обработке на основании формулы (21), руб.,

$$C_{\text{маш}} = \sum_1^n C_i, \quad i = 1; 2; \dots; n, \quad (22)$$

где n — количество деталей в машине.

Рассмотрим определение трудоемкости обработки деталей, как наиболее важной величины, на различных станках.

Трудоемкость обработки на универсальных станках одной детали — это калькуляционное время обработки, мин,

$$t_k = \frac{t_{п-з}}{m} + t_{шт}, \quad (23)$$

где $t_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время на партию изделий, мин; m — количество изделий в партии, шт.; $t_{шт}$ — штучное время, мин.

Штучное время состоит из следующих элементов:

t_o — основное время (машинное или машинно-ручное); t_b — вспомогательное время, связанное с переходом (снятие и установка деталей, промеры, приемы управления станком и т. п.); $t_{об}$ — время на обслуживание рабочего места, естественные надобности и отдых.

Таким образом, штучное время

$$t_{шт} = t_o + t_b + t_{об}.$$

При работе на автоматах и полуавтоматах

$$t_{ш} = t_o + t_b = t_{оп},$$

т. е.

$$t_{ш} = t_{оп},$$

где $t_{оп}$ — оперативное время.

Наибольшую долю в штучном времени составляет машинное (40—60) % и вспомогательное время (50—25) %.

Машинное время определяют по известным формулам; например, для токарной обработки, мин,

$$t_o = \frac{li}{ns}, \quad (24)$$

где l — длина обработки, включая длину врезания и перебега инструмента, мм; i — количество проходов; n — частота вращения изделия, об/мин; s — подача на один оборот, мм.

Подготовительно-заключительное, вспомогательное время и время обслуживания рабочего места определяют по нормативам [13].

Когда известны все составляющие, то по формуле (23) можно определить t_k .

Выработка продукции рабочим на данной операции за смену, шт.,

$$П = \frac{\mu T}{t_k},$$

где T — календарное время смены, мин; μ — коэффициент использования календарного времени.

Трудоемкость обработки на специализированных станках. При работе на многоинструментных станках, полуавтоматах и автоматах мерилем производительности и трудоемкости служит штучное время. Теоретическая производительность станка $П_t$ определяется делением календарного времени работы T на теоретическое штучное время $t_{ш}$, необходимое на изготовление одного изделия, шт.:

$$П_t = \frac{T}{t_{ш}}.$$

Расчетную производительность станка $П_p$ следует определять с учетом минимальных неизбежных потерь $t_{пот}$ времени:, шт.:

$$П_p = \frac{T - t_{пот}}{t_{ш}}. \quad (25)$$

Величина потерь переменна и зависит от режимов резания.

Потери, которые можно учесть при расчете, складываются из таких величин: потери времени на установку и снятие деталей t_y , на замену и подналадку инструмента t_n , на личные надобности оператора t_d . При обработке в автоматических линиях должны быть учтены внутрицикловые потери $t_{ц}$ при работе автоматических механизмов и время t_n на перемещение детали между агрегатами. Потери времени по организационным причинам (простой) в расчете не учитываются.

Суммарные потери времени складываются из отдельных величин. Для многошпиндельных автоматов и полуавтоматов эти потери

$$t_{пот} = t_y + t_n + t_d. \quad (26)$$

Подставив значение $t_{\text{пот}}$ из формулы (26) в выражение (25), получим:

$$P_p = \frac{T - (t_y + t_n + t_n)}{t_{\text{ш}}}. \quad (27)$$

Как видно из формулы (27), с увеличением потерь производительность системы падает, а с уменьшением штучного времени $t_{\text{ш}}$ — возрастает. Однако с уменьшением штучного времени увеличиваются все потери (кроме t_n), так как при повышении режимов резания возрастает суммарное время t_y на снятие и установку деталей, время t_n на замену инструментов, вследствие чего уменьшается числитель в уравнении (27). Поэтому иногда при малом времени $t_{\text{ш}}$ производительность системы падает.

Для специализированных многопозиционных станков штучное время уменьшается за счет повышения режимов резания, а также равномерного распределения обработки между позициями. В этом случае время t_y перекрывается машинным временем, но появляется время t_n — на перемещение детали от позиции к позиции. Формулы (26) и (27) примут вид:

$$t_{\text{пот}} = t_n + t_n + t_n;$$

$$P_p = \frac{T - (t_n + t_n + t_n)}{t_{\text{ш}}}.$$

Общую стоимость обработки изделий за время T вычисляют по формуле

$$C = C_o + C_n, \quad (28)$$

где C_o — стоимость обслуживания системы, руб.; C_n — стоимость заточки и износа инструментов, руб.

Стоимость изделия определяют из формул (27) и (28):

$$C_{\text{ш}} = \frac{C}{P_p} = \frac{t_{\text{ш}}(C_o + C_n)}{T - (t_y + t_n + t_n)}. \quad (29)$$

Из формулы (29) можно установить, что при уменьшении значения $t_{\text{ш}}$ стоимость изделия уменьшается, а с увеличением потерь — возрастает. Однако уменьшение $t_{\text{ш}}$ достигается при повышении режимов резания, вследствие чего растут расходы C_n на инструмент. Таким образом, при малом значении $t_{\text{ш}}$ в формуле (29) может расти числитель и уменьшаться знаменатель и, следовательно, увеличиваться штучная стоимость $C_{\text{ш}}$.

Таким образом, чтобы определить производительность, надо найти такие условия обработки, при которых можно было бы получить максимум производительности системы и минимум стоимости детали.

Оптимальные значения расчетной производительности P_p и штучной стоимости $C_{\text{ш}}$ детали находят, задаваясь различными величинами режимов резания для наиболее нагруженных инструментов и вычисляя величины потерь расхода и стоимости инструмента, зависящие от режимов резания.

Методика расчета этих величин при обработке деталей на полуавтоматах, агрегатных станках и в автоматических линиях остается той же. За основу расчета берут время стойкости наиболее нагруженно-го инструмента *. Определяя потери времени в автоматической линии,

* В большинстве случаев наиболее нагруженный инструмент является также инструментом с наиболее продолжительным временем выполнения перехода.

нужно учитывать внутрицикловые потери и время на перемещение детали между агрегатами. Для переналаживаемых автоматических линий учитывается также время переналадки на обработку детали другого размера и время прохождения первой детали новой партии по линии.

В серийном и крупносерийном производстве целесообразно организовать переменнo-поточные и постоянно-поточные линии для обработки деталей.

Для правильного выбора поточной линии необходимо ориентироваться на расчетную производительность, вычисляемую по формуле (25).

Производительность станка линии на наиболее продолжительной операции

$$P_p = \frac{T - t_{\text{пот}}}{t_{\text{ш}}}, \text{ или } P_p t_{\text{ш}} = T - t_{\text{пот}},$$

где T — календарное время работы станка за смену, мин; $t_{\text{пот}}$ — все потери времени, мин; $t_{\text{ш}}$ — штучное время на наиболее продолжительной операции при обработке типичной детали, мин.

Когда $P_p t_{\text{ш}} = T - t_{\text{пот}}$, это значит, что станок полностью загружен в течение смены одной операцией. Если время обработки можно рассчитать так, чтобы оно было более или менее одинаковым на всех операциях, то для обработки данной детали проектируют постоянно-поточную линию. Недогрузка отдельных станков в пределах 15—20 % календарного времени окупается меньшими потерями времени и труда на транспортирование деталей и выигрышем от уменьшения организационных потерь и повышения производительности труда. В постоянно-поточных линиях станки расставляют точно по маршруту.

Если на каких-либо операциях $P_p t_{\text{ш}} = (1,3 \div 1,5) (T - t_{\text{пот}})$, то на таких операциях необходимо ставить по два станка. Если $P_p t_{\text{ш}} < 0,3 (T - t_{\text{пот}})$, то проектируют переменнo-поточную линию для обработки нескольких сходных деталей. В такой линии станки расставляют по маршруту обработки наиболее сложных и трудоемких деталей.

Для сравнительной оценки количества оборудования, применяемого при том или ином технологическом процессе, вычисляют величину станкoемкости*.

Станкoемкость — это количество станочного времени, затрачиваемого на изготовление детали. Может быть станкoемкость операции и станкoемкость технологического процесса, т. е. станкoемкость всех операций по изготовлению одной детали. При выполнении операции одним инструментом на одном станке величина станкoемкости t_c равна величине штучного времени $t_{\text{ш}}$:

$$t_c = t_{\text{ш}}. \quad (30)$$

При последовательном изготовлении детали на нескольких универсальных станках станкoемкость процесса

$$t_{c.p} = \sum_1^n t_{c_i} = \sum_1^n t_{\text{ш}_i}; \quad i = 1; 2; \dots; n, \quad (31)$$

* Понятие «станкoемкость» ввел проф. Ф. С. Демьянюк.

где t_{ci} — станкоемкость i -й операции; $t_{шi}$ — штучное время на i -м станке; n — количество операций.

При выполнении операции многошпиндельными головками на многопозиционных станках с одновременной параллельной обработкой детали одинаковыми инструментами станкоемкость операции

$$t_o = t_{ш} \quad (32)$$

Для такого станка с параллельной обработкой разными инструментами станкоемкость операции рассчитывают по инструменту с наиболее длительным временем работы:

$$t_c = t_{ш.макс.}$$

При последовательной многопозиционной обработке на каждой позиции деталь останавливается для обработки на время $t_{шi}$. Поэтому станкоемкость операции

$$t_c = \sum_1^n t_{шi},$$

где n — количество позиций обработки.

Эта формула действительна и для определения величины станкоемкости на многошпиндельном автомате.

Станкоемкость технологического процесса при обработке детали на поточной линии

$$t_c = \sum_1^n t_{шi}; \quad i = 1; 2; \dots; n,$$

где $t_{шi}$ — штучное время i -й операции.

В зависимости от количества операций A

$$t_c \approx A \bar{t}_{ш},$$

где $\bar{t}_{ш}$ — среднее штучное время обработки:

$$\bar{t}_{ш} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{A}.$$

Станкоемкость технологического процесса обработки детали в автоматической линии

$$t_c = A t_{ш},$$

где $t_{ш}$ — время цикла обработки детали, которое является оперативным временем $t_{оп} = t_o + t_b$; A — количество позиций в автоматической линии.

Таким образом, во все формулы входит величина штучного времени $t_{ш}$.

Однако величины $t_{ш}$ для разных процессов разные и зависят от применяемых режимов резания и степени концентрации операций. Станкоемкость отдельной операции также зависит от степени концентрации операций.

Степенью концентрации операций C_k называют отношение общего количества переходов q , которые должны выполняться последователь-

но при обработке всех поверхностей на универсальных станках, к количеству переходов q_c , выполняемых одновременно при обработке на многоинструментных станках или системах:

$$C_k = \frac{q}{q_c} > 1.$$

Штучное время при этом уменьшается примерно обратно пропорционально степени концентрации операций, т. е. штучное время концентрированной обработки

$$t_{ш.к} = \frac{t_{ш}}{C_k} = \frac{t_{ш}q_c}{q},$$

где $t_{ш}$ — штучное время при обработке соответствующих поверхностей на универсальных станках.

Для многшпindelных и многопозиционных станков, полуавтоматов, автоматов, автоматических линий станкоемкость больше трудоемкости.

Предположим, что заготовка обрабатывается на многшпindelном полуавтомате или на автоматической линии на пяти позициях. Пусть каждую минуту с линии выходит одна деталь, но обрабатывается деталь на всех позициях в течение 5 мин. Трудоемкость этой детали будет 1 мин, а станкоемкость — 5 мин.

Уменьшение станкоемкости за счет концентрации операций ведет к усложнению оборудования и увеличению его стоимости. Поэтому требуется определить, при производстве какого количества деталей за определенный промежуток времени применение более дорогого оборудования оправдано. Критерием сравнения принимают себестоимость операции или комплекса операций.

Пример. В детали есть шесть одинаковых отверстий. Штучное время при сверлении одного отверстия $t_{ш} = 0,5$ мин. Определить станкоемкость.

Решение. Станкоемкость по формуле (30)

$$t_c = t_{ш} = 0,5 \text{ мин.}$$

При последовательном сверлении шести отверстий на одношпindelном станке станкоемкость по формуле (31)

$$t_{с.п} = \sum_1^6 t_{ш_i} = 6 \cdot 0,5 = 3 \text{ мин.}$$

При сверлении многшпindelной головкой одновременно шести отверстий станкоемкость по формуле (30)

$$t_c = t_{ш} = 0,5 \text{ мин.}$$

Аналогично выводам, приведенным ранее, условие выгодности применения нового оборудования выразится неравенством

$$C_2 \leq C_1,$$

где C_1 — себестоимость продукции, полученной на оборудовании общего назначения; C_2 — себестоимость продукции, полученной на специальном оборудовании с высокой концентрацией обработки.

Себестоимость обработки одной детали с учетом накладных расходов в каждом случае такая, руб.:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= z_1 t_1 (1 + q_1) + \frac{Q_1}{nK}; \\ C_2 &= z_2 t_2 (1 + q_2) + \frac{Q_2}{nK}, \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

где t_1, t_2 — штучное время обработки в первом и втором случаях; z_1, z_2 — соответствующие величины заработной платы в единицу времени; Q_1, Q_2 — соответствующие стоимости оборудования; n — количество лет использования оборудования; K — количество деталей по программе в год; q_1, q_2 — коэффициенты накладных расходов ($q = \frac{H\%}{100}$) без учета расходов на амортизацию оборудования; $H\%$ — величина цеховых накладных расходов, %.

Подставляя значения C_1 и C_2 из формул (33) в формулу (4), после несложных преобразований определяют годовое количество деталей, при котором выгодно применять более совершенное оборудование:

$$K = \frac{Q_2 - Q_1}{[z_1 t_1 (1 + q_1) - z_2 t_2 (1 + q_2)] n}. \quad (34)$$

Например, обработка велась на токарном станке стоимостью 1500 руб., т. е. $Q_1 = 1500$ руб. Эти станки заменяют одним многошпиндельным полуавтоматом, стоимость которого $Q_2 = 10\,000$ руб. При этом $z_1 = 0,5$ руб./ч; $z_2 = 0,35$ руб./ч; $t_1 = 0,16$ ч; $t_2 = 0,02$ ч; $n = 5$.

Если применять сложное автоматизированное оборудование, величина накладных расходов увеличивается. Например, в механических цехах с универсальным оборудованием накладные расходы составляют 150—200 % основной заработной платы, в цехах автоматов — 300—400 % основной заработной платы. Это объясняется тем, что стоимость автоматизированного оборудования возрастает (следовательно, увеличиваются амортизационные расходы), а величина основной заработной платы уменьшается вследствие уменьшения количества производственного персонала. Взяв коэффициенты накладных расходов равными $q_1 = 1,2$ и $q_2 = 2,5$, получим, что внедрение нового оборудования по формуле (34) становится выгодным при годовом количестве деталей

$$K = \frac{10\,000 - 1500}{[0,5 \cdot 0,16 (1 + 1,2) - 0,35 \cdot 0,02 (1 + 2,5)] \cdot 5} \approx 11\,300 \text{ шт./год.}$$

Чтобы уменьшить станкоемкость, ищут способы уменьшения потерь времени на замену инструмента в автоматических системах. Для этого применяют блоки инструментов и отдельные инструменты, настраиваемые после заточки и доводки на размер обработки вне станка (бесподналадочная оснастка). Чтобы не допустить чрезмерного износа, замена инструментов производится по графику. В станках, называемых обрабатывающими центрами, применяется автоматическая смена инструментов по определенной программе. Конструкций таких станков в настоящее время много. В качестве примера на рис. 12 приведена схема простой конструкции, применяемой для автоматической смены инструментов на обрабатывающем центре. В подвижном инструментальном магазине располагаются гнезда a для инструментов. Поворотная головка b автоматически поворачивается из положения 1 в положение 2 и захватывает инструмент в

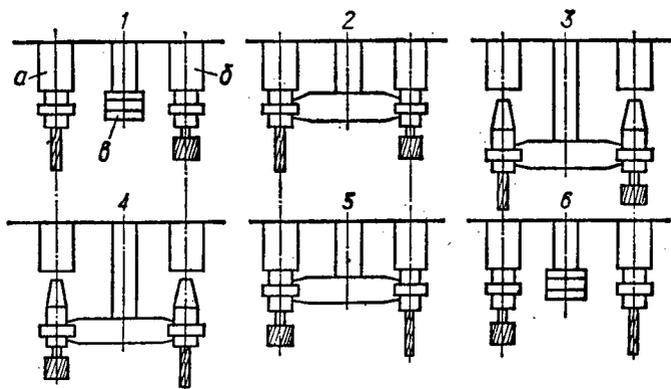


Рис. 12. Устройство для автоматической смены инструментов:
a, б — гнезда для инструментов в магазине и в шпинделе станка,
а — автооператор; 1, 2, ... 6 — положения автооператора при смене инструментов.

гнезде *a* и инструмент в шпинделе *б*, подлежащий замене. В положениях 3, 4, 5 осуществляется автоматически вынимание инструментов из гнезд, поворот головки и вставление инструментов в соответствующие гнезда. В положении 1 головка *а* станвится в исходное положение, инструмент в шпинделе *б* начинает работать, магазин подает следующий инструмент для замены. После окончания рабочего хода инструмента в шпинделе *б* цикл замены инструмента повторяется.

При использовании автоматических манипуляторов (роботов) их стоимость прибавляется к стоимости оборудования. Поэтому себестоимость продукции может возрастать. В общем случае можно считать, что применение роботов может быть рентабельным, когда годовые амортизационные расходы на робот будут меньше или равны годовой зарплате освобождаемого рабочего. Но при недостатке рабочей силы рентабельность применения роботов необходимо учитывать в зависимости от потерь в производстве, вызванных недогрузкой оборудования на данном участке в связи с отсутствием рабочего.

Расчет времени обработки деталей. Как видно из предыдущего, основным во всех технических и экономических расчетах при определении эффективности комплексного технологического процесса является расчет времени обработки деталей. Он необходим также для составления норм времени и для планирования. Все расчеты времени обработки основываются на выборе рациональных режимов резания.

При обработке деталей единичными инструментами режимы резания выбирают на основании методов, изучаемых в курсе «Учение о резании металлов».

Для примера в табл. 5 показана последовательность расчета режимов резания и технической нормы времени при токарной обработке инструментом из быстрорежущей стали. Как видно из этой таблицы, точный аналитический расчет или расчет по нормативам технических норм времени на обработку деталей требует детальной (попереходной) разработки технологических процессов и весьма трудоемок.

Таблица 5. Последовательность расчета режимов резания и нормы времени

№ пп.	Требуемые сведения	Буквенные обозначения или формулы	Откуда взяты
1	Диаметр заготовки, мм	d	Из чертежа заготовки
2	Длина обработки с учетом врезания и перебега инструментов, мм	l	То же
3	Припуск на обработку	$t' = d - d_{дет}$	Из чертежей заготовки и детали
4	Материал инструмента	—	Из технологической карты
5	Тип станка	—	По выбору технолога
6	Метод установки и закрепления заготовки на станке	—	То же
7	Род материала изделия	—	Из чертежа детали
8	Коэффициент в формуле силы резания, характеризующий род и механические качества материала	C_p	Из нормативов [17]
9	Коэффициент в формуле скорости резания, характеризующий материал режущего инструмента и обрабатываемого изделия	C_v	То же
10	Глубина резания	$t = \frac{t'}{i}$	t' по п. 3; i — количество проходов (задается)
11	Расчетная величина подачи, мм/об	$S_p = \left(\frac{P_{здоп}}{C_p t} \right)^{1/2}$	Пп. 8, 10 и 12
12	Тангенциальная сила резания $P_{здоп}$ выбирается наименьшей из следующих: а) наибольшая сила, допускаемая жесткостью изделия б) наибольшая сила, допускаемая механизмом подачи станка, кгс	$P_{зж}$ $P_{мст}$	Из расчета допускаемого прогиба изделия Из паспорта станка
13	Подача S_p , полученная по п. 11: а) сравнивается с подачей, допускаемой механизмом подачи станка б) сравнивается с наибольшей подачей, допускаемой по шероховатости поверхности в) выбирается как допускаемая подача, наименьшая из первых двух	$S_{ст}$ $S_{ш}$ $S_{доп}$	Из паспорта станка Из нормативов [17] —

№ пп.	Требуемые сведения	Буквенные обозначения или формулы	Откуда взяты
14	Экономическая скорость резания, м/мин	$v_{\text{эк}} = \frac{C_p}{S_{\text{доп}}^{x_v} y_v t}$	Коэффициенты x_v и y_v — из нормативов [112]; остальные величины — по пп. 9, 10, 13, σ
15	Скорость резания, допускаемая по мощности станка, м/мин	$v_N = \frac{4500 N_e}{C_p S_{\text{доп}}^{y_v} t}$	Эффективная мощность N_e из паспорта станка; остальные величины — по пп. 8, 10, 13, σ
16	Оптимальная скорость резания, м/мин	$v_{\text{опт}}$	По пп. 14, но не выше v_N — по п. 15
17	Оптимальное число оборотов в минуту шпинделя (детали)	$n_{\text{опт}} = \frac{1000 v_{\text{опт}}}{\pi d}$	$v_{\text{опт}}$ — по п. 16; d — по п. 1
18	Машинное время обработки на переходе, мин	$t_M = \frac{l}{n_{\text{опт}} S_{\text{доп}}}$	l — по п. 2; t — по п. 10; остальные величины — по пп. 13, σ , 17
19	Сумма машинного времени по всем переходам, мин	$\sum_1^K t_{M_i}$	Из расчетов — по п. 18 K — количество переходов
20	Вспомогательное время по каждому переходу, мин	t_{B_i}	Из нормативов [13]
21	Сумма вспомогательного времени по всем переходам, мин	$\sum_1^K t_{B_i}$	Из расчетов по п. 20 K — по п. 19
22	Штучное время обработки, мин	$t_{\text{шт}} = \left(\sum_1^K t_{M_i} + \sum t_{B_i} \right) \times (1 + \alpha + \beta)$	Из пп. 19 и 21; α — прибавка времени на обслуживание рабочего места; β — прибавка времени на естественные надобности и отдых — из нормативов [13]
23	Калькуляционное время обработки, мин	$t_K = \frac{t_{\text{п-з}}}{m} + t_{\text{шт}}$	m — количество изделий в партии, из технологической карты; $t_{\text{п-з}}$ — подготовительно-заключительное время, из нормативов [13]; $t_{\text{шт}}$ по п. 22
24	Норма выработки в смену	$Q = \frac{\eta T}{t_K}$	T — календарное время, мин; η — коэффициент использования рабочего времени; t_K — по п. 23

Если на заводе есть электронно-вычислительные машины (ЭВМ), можно составить алгоритмы и программы для вычисления оптимальных режимов резания. Однако этот процесс также достаточно трудоемок и требует больших подготовительных работ. При разработке технологических процессов технологу необходимо быстро оценить различные варианты, для чего требуется знать с достаточной для практики точностью время обработки детали на той или иной операции.

Поэтому, проектируя новые технологические процессы, для того чтобы быстро оценить трудоемкость вариантов, пользуются упрощенными, но достаточно точными способами расчета машинного, штучного и калькуляционного времени обработки. Точность расчета технических норм достаточна, если расхождение между техническими нормами и фактической выработкой исполнителя при нормальных условиях работы находится в пределах $\pm 20\%$ запроектированной нормы.

Изложенный ниже способ упрощенной оценки машинного и калькуляционного времени обработки в единичном, серийном и крупносерийном производстве дает возможность рассчитать нормы времени с погрешностью расчета в пределах $\pm 10\%$ величины точной технической нормы. Этот способ расчета основан на исследовании процессов и режимов труда в производстве и применении для расчетов основных положений теории вероятностей и математической статистики.

При расчете технических норм предполагается, что рабочий должен применять на станке запроектированные режимы резания и выполнять приемы управления станком и контроля размеров детали в соответствии с принятыми по нормативам величинами режимов резания, подготовительно-заключительного, вспомогательного времени и времени обслуживания рабочего места.

Однако практически выбор режимов резания на рабочем месте обусловлен рядом обстоятельств, которые невозможно точно учесть при расчете. К ним относится изменение качества материала, инструмента, средств охлаждения, состояния оборудования, квалификации исполнителя и уровня технического руководства. Рабочий, руководствуясь личными соображениями и опытом, может выбрать любую частоту вращения шпинделя или инструмента и любую подачу из имеющихся на станке.

Наблюдения в механических цехах с единичным и серийным производством показали, что применяемые элементы режимов резания являются случайными величинами, подчиняющимися статистическим законам распределения случайных величин и обладающими устойчивой частотой в пределах довольно продолжительного времени.

Откладывая различные значения элементов режимов резания (скорости резания, подачи, глубины резания) по оси абсцисс x и вычисляя частоты их появления по формуле

$$y = \frac{m}{N} \cdot$$

где m — количество одинаковых значений элементов режимов резания; N — количество всех наблюдений, можно выявить закон распре-

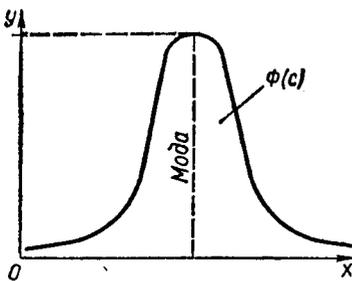


Рис. 13. Кривая нормального распределения случайных величин:

x — случайная величина; y — частота появления случайной величины.

деления элементов режимов резания в производстве:

$$y = \Phi(x),$$

где x — случайная величина какого-либо элемента режима резания.

Процессы труда повторяются ежедневно, ежечасно, множеством людей в течение продолжительного времени на многочисленных предприятиях. При этом наблюдается большая повторяемость режимов резания и большое разнообразие числовых значений скоростей и подач на станках одного назначения. Учитывая эту повторяемость, по закону больших чисел без большой погрешности можно

принять, что элементы режимов резания распределяются в производстве по нормальному закону распределения случайных величин (рис. 13). Вся область частостей появления различных значений случайной величины представляется площадью $\Phi(c)$, ограниченной кривой (или приближающимся к ней полигоном).

Как известно, площадь, ограниченную кривой, численно можно выразить определенным интегралом

$$F = \int_a^b f(x) dx = \Phi(b) - \Phi(a).$$

По теореме о среднем интегрального исчисления

$$\int_a^b f(x) dx = (b - a) f(c),$$

где $f(c)$ — некоторое среднее значение $f(x)$. Поскольку пределы интегрирования задаются, то при известном среднем значении $f(c)$ — площадь, ограниченная кривой, — определима. Поэтому, если из статистических наблюдений в производстве определить среднее значение величин режимов резания и нормы рассчитать с учетом этих значений, то можно получить достаточно точные результаты. Вследствие рассеивания значений применяемых режимов резания фактическая частота применения какой-либо величины будет различна, но в конечном результате все значения частостей не выйдут за границы площади, заранее определяемой кривой. За такое среднее значение $f(c)$ при нормальном распределении случайных величин принимается наибольшее значение ординаты кривой распределения, называемое «модой». Численная величина этой ординаты является наиболее вероятным (средним) значением случайной величины. При статистическом накоплении результатов исследований той или иной случайной величины мода представляет собой наиболее часто встречающееся значение этой величины.

Принимая значения элементов режимов резания, наиболее часто встречающиеся в производстве, за основу расчетов, с достаточной точ-

ностью можно определить наиболее вероятное время обработки деталей машин, общую трудоемкость и прочие величины, связанные с трудоемкостью.

В дальнейшем все выводы о расчете наиболее вероятного машинного времени основываются на следующих формулах математической статистики о средних значениях (математических ожиданиях) M случайных величин x_i, y_i :

$$M(x + B) = M(x) + B;$$

$$M\left(\sum_1^n x_i\right) = \sum_1^n M(x_i);$$

$$M(Bx_i) = BM(x_i);$$

$$M(x_i y_i) = M(x_i) M(y_i),$$

где B — постоянная; $i = 1; 2; \dots; n$.

Обычные формулы для подсчета машинного и калькуляционного времени обработки преобразовываются в формулы наиболее вероятного времени следующим образом. Известная формула для подсчета машинного времени при токарной обработке имеет следующий вид, мин:

$$t_m = \frac{li}{nS}, \quad (36)$$

где l — длина обработки, мм; i — количество проходов; n — частота вращения шпинделя, об/мин; S — подача, мм/об.

Так как скорость резания вычисляют по формуле, $\frac{m}{\text{мин}}$,

$$v = \frac{\pi dn}{1000},$$

где d — диаметр обработки, мм,

то
$$n = \frac{1000v}{\pi d}. \quad (37)$$

Подставив выражение (37) в формулу (36), получим, мин,

$$t_m = \frac{\pi dli}{1000vS}. \quad (38)$$

При обычном расчете величина $\frac{\pi}{1000}$ постоянна, d и l — заданные, v и S — переменные для каждого перехода.

Если принять $i = 1$ и взять по статистическим наблюдениям наиболее вероятные значения \bar{v} и \bar{S} , то можно считать в формуле (38) для диаметров довольно широкого диапазона постоянной величину

$$\frac{\pi}{1000\bar{v}\bar{S}} = k.$$

Таким образом, формула (38) приобретает вид:

$$t_m = kdl, \quad (39)$$

где k — коэффициент.

Формулы этого вида применяют при точении, растачивании, сверлении, зенкеровании, развертывании, нарезании резьбы, наружном и внутреннем шлифовании.

При строгании, шлифовании торцом круга, плоском шлифовании периферией круга, когда обработка производится с подачей инструментов по ширине поверхности, наиболее вероятное машинное время вычисляют по формуле

$$t_m = kbl,$$

где b — ширина поверхности, мм.

Коэффициент k наиболее вероятных условий обработки при строгании находят в этом случае по формуле

$$k = \frac{m+1}{1000\bar{v}_{p.x}\bar{S}},$$

где $m = \frac{\bar{v}_{p.x}}{\bar{v}_{x.x}}$ — наиболее вероятное отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода; \bar{S} — наиболее вероятная подача инструмента, мм, на один двойной ход стола.

Для фрезерования и плоского шлифования, когда инструмент захватывает всю ширину поверхности,

$$t_m = kl,$$

а величина k , например, для фрезерования

$$k = \frac{1}{\bar{S}_{\text{мин}}},$$

где $\bar{S}_{\text{мин}}$ — наиболее вероятная минутная подача фрезы, мм/мин.

Формулы наиболее вероятного машинного времени выводят аналогично и для других видов обработки.

Набор формул для вычисления наиболее вероятного машинного времени для механической обработки почти всех видов, ход расчета и наиболее вероятные значения величин, зафиксированные на ряде заводов, приведены в приложении 2*. Эти формулы могут служить для оценки трудоемкости машин весом от 1 до 5 т.

При обработке бронзы и латуни коэффициенты k необходимо уменьшить в 2,5 раза, так как значения скорости резания v в формуле (38) увеличиваются примерно в 2,5 раза. Если изменяются значения наиболее вероятных величин, указанных в приложении 2, коэффициенты k_i пересчитывают в соответствии с изменением условий работы.

Иногда на величину машинного времени может существенно повлиять величина врезания и перебега инструментов, особенно при коротких путях обработки и большом количестве выпускаемых деталей. В этих случаях величины машинного времени по приложению 2 следует умножить на поправочные коэффициенты, указанные в приложении

* Канавки, фаски, малые лыски, скосы при расчете не принимают во внимание, так как машинное время на обработку их составляет примерно 1% общей трудоемкости изделия, что находится в пределах погрешности вычислений.

4. Если коэффициент меньше 1,05, его можно не учитывать, поскольку он мало влияет на конечный результат при расчете нормы.

По формулам наиболее вероятного машинного времени для отдельных переходов выводят формулы машинного времени при полной обработке различных поверхностей. Формулы выводят для размеров поверхностей определенных градаций. Например, для валов и отверстий диаметром от 20 до 60 мм, свыше 60 до 150 мм и т. д.:

$$\sum_1^n t_{M_i} = dl \sum_1^n k_i.$$

Пользуясь данными приложения 2, можно составить формулу наиболее вероятного машинного времени при обработке типичных поверхностей. Например, для сквозных отверстий 7-го качества диаметром 20—50 мм, обрабатываемых на сверлильных или токарных станках, величина машинного времени следующая:

Переход	$t_{M_i} = K_i dl$
Сверление	$t_{M_1} = 0,00056dl$
Зенкерование	$t_{M_2} = 0,00021dl$
Черновое развертывание	$t_{M_3} = 0,000436dl$
Чистовое развертывание	$t_{M_4} = 0,000876dl$
$\sum_1^4 t_{M_i} = dl \sum_1^4 K_i = 0,00212 dl$	

Как видно из этих данных, формула суммарного наиболее вероятного машинного времени обработки отверстия на четырех переходах получается только сложением коэффициентов k_i , так как множитель dl при сложении выносится за скобки. Вычисленное машинное время кладут в основу расчета калькуляционного времени обработки.

Для того чтобы вычислить калькуляционное время по формуле (23), необходимо знать подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$, вспомогательное время $t_{в}$ и время обслуживания рабочего места $t_{обс}$.

При использовании статистических данных о величине машинного времени t_m расчетную формулу (23) можно значительно упростить и привести к виду формулы (39) следующим образом.

Величины подготовительно-заключительного, вспомогательного времени и времени обслуживания рабочего места берут в долях штучного времени:

$$\left. \begin{aligned} t_{п-з} &= \xi_1 t_{ш}; \\ t_{в} &= \xi_2 t_{ш}; \\ t_{обс} &= \xi_3 t_{ш}, \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

где ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 — коэффициенты, учитывающие соответственно долю величин $t_{п-з}$, $t_{в}$ и $t_{обс}$ в штучном времени.

Подставив значения величин из формул (40) в формулу штучного времени $t_{ш} = t_m + t_{в} + t_{обс}$, получим

$$t_{ш} = t_m + \xi_2 t_{ш} + \xi_3 t_{ш},$$

откуда

$$t_{ш} = \frac{t_M}{1 - \xi_2 - \xi_3}. \quad (41)$$

На основании формул (40) и (41) преобразуем формулу (23):

$$t_k = \frac{\xi_1 t_{ш}}{n} + \frac{t_M}{1 - \xi_2 - \xi_3}.$$

Подставив в это выражение значение $t_{ш}$ из формулы (41), получим

$$t_k = \frac{\xi_1 t_M}{n(1 - \xi_2 - \xi_3)} + \frac{t_M}{1 - \xi_2 - \xi_3},$$

откуда

$$t_k = \frac{t_M}{1 - \xi_2 - \xi_3} \left(\frac{\xi_1}{n} + 1 \right). \quad (42)$$

Обозначив

$$\frac{1}{1 - \xi_2 - \xi_3} = \xi; \quad \frac{\xi_1}{n} + 1 = \psi, \quad (43)$$

получим формулу (42) в виде:

$$t_k = \xi \psi t_M$$

или, приняв

$$\xi \psi = \psi_k, \text{ получим } t_k = \psi_k t_M. \quad (44)$$

Подставив в формулу (44) значение t_M из формулы (39), для токарной обработки найдем, что

$$t_k = \psi_k k d l. \quad (44a)$$

Общая трудоемкость технологического процесса состоит из суммы трудоемкостей отдельных частей процесса. Ее можно выразить формулой

$$T_k = \sum_1^n t_{k_i}; \quad i = 1; 2; \dots; n. \quad (45)$$

Следует отметить, что в серийном производстве с увеличением количества деталей в партии величина ψ в формуле (43) быстро уменьшается и ею можно пренебречь, т. е.

$$t_k = t_{ш}.$$

Действительно, предположим, что по заводским данным

$$\xi_1 = 0,06; \quad \xi_2 = 0,3; \quad \xi_3 = 0,1; \quad n = 20 \text{ шт.}$$

На основании формулы (43) $\xi = 1,66$; $\psi = 1,003$ и при $k = 0,002$ формула (44a) примет вид:

$$t_k = 0,003329 d l.$$

Если принять во внимание только величины $\xi = 1,66$; $k = 0,002$, то формула (44a) будет иметь вид:

$$t_k = 0,00332 d l.$$

* Значения коэффициента ψ_k для вычисления калькуляционного времени по формуле (44) даны в приложении 3.

Таким образом, подготовительно-заключительное время не влияет даже на пятый знак десятичной дроби. Поэтому расчетную формулу для данного случая с достаточной для практики точностью можно принять:

$$t_k = 0,0033dl. \quad (46)$$

При обточке партии из 20 деталей диаметром $d = 100$ мм и $l = 500$ мм разница при расчете по формуле (46) и по предыдущим формулам составит 1 мин на партию или 0,05 мин на штуку.

Имея расчетные данные для определения калькуляционного времени t_k в единичном и серийном производстве и $t_{ш}$ для массового поточного производства, себестоимость детали определяют по формуле (21). Эти формулы будут использованы для сравнительной оценки трудоемкости и себестоимости типовых деталей машин.

Выбор режимов резания для многоинструментных станков и автоматических систем*. Для определения экономического периода резания $t_{эк}$ (стойкости инструмента) при обработке одним инструментом существует несколько способов. Все они дают примерно одинаковые результаты.

Экономическую стойкость инструмента можно определить по формуле

$$t_{эк} = \frac{1-m}{m} \left(t_{см} + \frac{C_3}{a_{раб} + a_{ст}} \right), \quad (47)$$

где m — показатель относительной стойкости; $t_{см}$ — время на смену и подналадку инструмента за период стойкости; C_3 — стоимость эксплуатации инструмента за период его стойкости; $a_{раб}$ — заработная плата рабочего за 1 мин; $a_{ст}$ — стоимость эксплуатации станка за 1 мин.

Иногда необходимо работать в режиме наибольшей производительности. Тогда формула (47) приобретает вид:

$$t_{пр} = \frac{1-m}{m} t_{см}. \quad (48)$$

На многоинструментных станках и в автоматических системах можно установить или экономический режим обработки, или режим наибольшей производительности.

Однако повышение подач и скоростей резания при обработке изделий в автоматических и полуавтоматических многоинструментных системах ограничивается рядом обстоятельств: значительное повышение режимов обработки ведет к возрастанию потерь времени на замену инструментов и других потерь. Поэтому количество выпускаемых со станка изделий будет снижаться, а себестоимость изделия — повышаться. В данном случае необходимо найти оптимальную стойкость комплекта режущих инструментов при минимальной себестоимости изделия.

Предел повышению производительности таких систем при увеличении скоростей и числа работающих инструментов ставят:

* Здесь и в дальнейшем под автоматической системой подразумеваются многоинструментный автомат, полуавтомат и автоматическая линия станков.

1) стойкость инструментов и связанные с этим потери времени на замену и подналадку инструментов;

2) цикловые и внецикловые потери времени.

Расчет экономической стойкости и стойкости наибольшей производительности комплекта инструментов при обработке заготовок на многоинструментном полуавтомате или автомате основывается на формулах, шт. и мин. соответственно:

$$П_p = \frac{T - t_{\text{пот}}}{t_{\text{ш}}};$$

$$t_{\text{пот}} = t_y + t_n + t_n.$$

Штучную стоимость определяют по формуле

$$C_{\text{ш}} = \frac{t_{\text{ш}}(C_o + C_n)}{T - (t_y + t_n + t_n)}.$$

Основной частью расчета является возможно точное определение потерь времени.

Потери времени t_y на установку и снятие заготовок. Величина потерь зависит от размера и характера заготовок, способа установки и величины выпуска деталей в смену. С достаточной точностью эти величины можно определить по нормативам [13].

При работе на полуавтоматах потери времени на установку заготовок в патроне, на снятие детали после обработки, а также потери, связанные с остановкой станка, выверкой и промерами, зависят от производительности станка. За смену они составят

$$t_y = t_y \cdot П_p,$$

где t_y — время на одну установку и снятие заготовки.

При работе на прутковых автоматах потери времени на заправку прутков t_y вычисляют следующим образом. Время, затрачиваемое на обработку одного прутка, равно $t_{\text{ш}}f$, где f — количество деталей, получаемых из одного прутка:

$$f = \frac{L - l}{l_d - l_{\text{от}}};$$

L — длина прутка, мм; l — длина остатка прутка в цанге автомата, мм; l_d — длина детали, мм; $l_{\text{от}}$ — длина прутка, теряемая при отрезке, мм.

Время, затрачиваемое на одну замену прутков на всех шпинделях, равно ut_o , где u — количество шпинделей, t_o — время, необходимое на замену одного прутка.

Полный цикл обработки всех прутков, включая заправку, равен

$$t_{\text{ш}}f + ut_o.$$

Количество циклов за время $T - t_{\text{пот}}$ работы станка

$$\text{Ц} = \frac{T - t_{\text{пот}}}{t_{\text{ш}}f + ut_o}. \quad (49)$$

Суммарное время, затрачиваемое на заправку всех прутков за смену,

$$t_y = \text{Ц}ut_o$$

или, подставив значение C из выражения (49), получим, мин,

$$t_y = \frac{(T - t_{\text{пор}}) ut_0}{t_{\text{ш}} + ut_0}.$$

Потери времени t_n на замену инструментов. В общем случае скорости резания на каждой позиции и стойкости инструментов t_{c_i} по времени чистого резания различны для каждого работающего инструмента. Кроме того, вследствие различных длин обработки и величин подачи каждый инструмент за время стойкости t_{c_i} обрабатывает различное количество изделий. Поэтому заменять инструменты полным комплектом можно лишь тогда, когда все инструменты имеют примерно одинаковую нагрузку и одинаковую длину обработки.

В наиболее сложном случае считают, что все инструменты, работающие одновременно, различны и работают при разных скоростях резания (обработка на многшпиндельном токарном автомате и полуавтомате). В этом случае для каждого инструмента выбирают по нормативам [12] максимальную допустимую подачу S , мм/об, и соответствующую подаче и глубине резания скорость резания v , м/мин.

Число оборотов в минуту шпинделя, вычисляют по формуле, об/мин,

$$n = \frac{1000v}{\pi d_{\text{нач}}}, \quad (50)$$

а машинное время за один проход — по формуле, мин,

$$t_m = \frac{L}{nS}, \quad (51)$$

где L — длина обработки с учетом длины подхода, врезания и перебега инструмента; $d_{\text{нач}}$ — начальный диаметр обработки.

Для каждого инструмента можно вычислить количество заготовок или деталей, обрабатываемых за время стойкости t_{c_i} , шт.:

$$Q_i = \frac{t_{c_i}}{t_{m_i}}.$$

Подставив в эту формулу значения t_{m_i} и n по формулам (50) и (51), получим

$$Q_i = \frac{1000S_{\text{макс}} vt_{c_i}}{\pi d_{\text{нач}} L}. \quad (52)$$

Одновременно определяют инструменты, чаще всего сменяемые. Обычно инструменты с наибольшим путем обработки наиболее нагружены (наименее стойки).

Если количество деталей Q_i , обработанное наиболее нагруженным инструментом за время t_{c_i} , принять за исходную величину, то можно определить соотношения в количестве замен других нагруженных инструментов, как

$$\frac{Q_i}{Q_1}; \frac{Q_j}{Q_2}; \dots \text{ и т. д.}$$

Если обозначить время на замену инструментов через t_1, t_2, \dots, t_n , количество одинаковых и одинаково нагруженных инструментов — через a_1, a_2, \dots, a_n , то приведенное время на одну замену комплекта инструментов

$$t'_n = a_1 t_1 \frac{Q_i}{Q_1} + a_2 t_2 \frac{Q_i}{Q_2} + \dots + a_n t_n$$

или

$$t'_n = a_n t_n + Q_i \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a_k t_k}{Q_k}. \quad (53)$$

Время нахождения наиболее нагруженного инструмента на станке до замены (рабочий период инструментов) t_3 состоит из времени стойкости, времени, затрачиваемого за замену инструмента, времени, связанного с установкой и снятием детали, и времени цикловых потерь. Следовательно, эту величину вычисляют по формуле

$$t_3 = t_{c_i} + t_n + Q_i (t_y + t_x + t_n), \quad (54)$$

где t_n — время на замену наиболее нагруженного инструмента.

Количество замен наиболее нагруженного инструмента

$$K = \frac{T}{t_3} = \frac{T}{t_{c_i} + t_n + Q_i (t_y + t_x + t_n)}. \quad (55)$$

Общие потери времени на замену инструментов за время T на основании формул (53) и (55) следующие:

$$\Sigma t_n = t'_n K = \frac{T t'_n}{t_3},$$

или

$$\Sigma t_n = \frac{T \left(a_n t_n + Q_i \sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a_k t_k}{Q_k} \right)}{t_{c_i} + t_n + Q_i (t_y + t_x + t_n)}. \quad (56)$$

Потери времени на отдых и личные надобности оператора принимают по нормативам времени обслуживания рабочего места [13] до 8—10 мин за смену:

$$t_n \approx 0,02T. \quad (57)$$

Вычислив время потерь по формулам (49), (56), (57) и подставив величины потерь в формулу (26), можно определить расчетное, производительно используемое для обработки время

$$t_p = T - t_{\text{пот}}$$

и расчетную производительность станка

$$П_p = \frac{T - t_{\text{пот}}}{t_{\text{ш}}}.$$

Для оценки экономических результатов обработки необходимо определить штучную стоимость изделий $C_{\text{ш}}$ при получаемой расчетной производительности $П_p$.

Общая стоимость обработки изделий за время T состоит из стоимости обслуживания станка C_o и стоимости расходов на заточку и износ инструмента (28).

Стоимость обслуживания C_o состоит из таких составляющих:

а) стоимости обслуживания наладчиком

$$C_{\text{нал}} = \frac{B_{\text{н}}T}{W_{\text{н}}}, \quad (58)$$

где $B_{\text{н}}$ — минутная заработная плата наладчика; $W_{\text{н}}$ — количество станков, обслуживаемых одним наладчиком;

б) стоимости обслуживания оператором

$$C_{\text{оп}} = \frac{B_{\text{оп}}T(1+q)}{W_{\text{оп}}}, \quad (59)$$

где $B_{\text{оп}}$ — минутная заработная плата оператора; $W_{\text{оп}}$ — количество станков, обслуживаемое одним оператором; $q = \frac{H\%}{100}$ — коэффициент накладных расходов по цеху, где работают автоматы (за вычетом стоимости обслуживания наладчиком); $H\%$ — накладные расходы цеха, в процентах от основной заработной платы.

Общая стоимость обслуживания

$$C_o = C_{\text{нал}} + C_{\text{оп}}$$

или, на основании формул (58) и (59),

$$C_o = T \left[\frac{B_{\text{н}}}{W_{\text{н}}} + \frac{B_{\text{оп}}(1+q)}{W_{\text{оп}}} \right]. \quad (60)$$

Стоимость C_n затрат на заточку и износ инструмента. Минутная стоимость расходов на заточку и износ инструмента обозначается через S_1, S_2, \dots, S_n .

По аналогии с формулой (53) стоимость затрат на одну замену комплекта инструментов:

$$C'_n = a_n S_n + Q_l \sum_{k=1}^{n-1} \frac{a_k S_k}{Q_k}. \quad (61)$$

Стоимость затрат на инструмент за время T :

$$C_n = C'_n K, \quad (62)$$

где K — количество замен инструментов по формуле (55).

Подставив в выражение (62) значение K из формулы (55) и C'_n — из (61), получим

$$C_n = \frac{T \left(a_n S_n + Q_l \sum_{k=1}^{n-1} \frac{a_k S_k}{Q_k} \right)}{t_{o_l} + t_n + Q_l (t_y + t_x + t_n)}. \quad (63)$$

Вычислив стоимость затрат на обслуживание, а также на заточку и износ инструмента по формулам (60) и (63), можно найти общую стоимость обработки по формуле (28) и штучную стоимость детали по формуле (29).

По уравнениям (25) и (29) необходимо определить, при каких условиях можно получить максимум производительности P_p и минимум штучной стоимости $C_{шт}$. Однако эти уравнения нельзя решить в общем виде из-за сложных функциональных зависимостей некоторых входящих в них величин и многих неизвестных, таких, как: $t_{пот}$, $\sum_{k=1}^{k=n-1} \frac{a_k t_k}{Q_k}$ и др. Для решения этих уравнений применяют графоаналитический метод численного нахождения максимума и минимума найденных функций на основе подстановки в расчетные формулы данных, полученных при эксплуатации станков, и определения потерь при различных величинах режимов резания (табл. 36, 37).

Расчет времени на внестаночные операции. Важное значение в производственном процессе механических цехов, в особенности в поточном производстве, имеют внестаночные операции: погрузочно-разгрузочные, транспортные, сборочные, контрольные, складские. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции влияют на цикл производства, на величину вспомогательного времени при обработке на станках и на количество вспомогательных рабочих. Хорошее оснащение транспортных операций способствует повышению производительности труда, снижает утомляемость обслуживающего персонала, уменьшает время на установку и снятие тяжелых заготовок в поточных линиях и на отдельных участках обработки. При недостаточном оснащении этих операций техническими средствами все перечисленные выше величины растут и, следовательно, возрастает себестоимость продукции.

Для технолога во времени обработки важно учесть время, затрачиваемое на перемещение между операциями. В непоточном производстве это время отдельно не учитывают. Оно входит в общий цикл производства.

При расчете выпуска в поточном производстве с принудительным движением деталей в темп выпуска (промежуток времени между выпуском двух деталей) входит время, затрачиваемое на перемещение между операциями. Например, в переналаживаемой поточной линии темп линии

$$t = t_{шт} + t_{тр}, \quad (64)$$

где $t_{тр}$ — время перемещения детали между операциями (транспортное).

При работе переналаживаемой поточной линии следует различать два промежутка времени: время установившейся работы (после переналадки) и время переналадки линии для производства детали другого типоразмера. При установившейся работе такой линии темп выпуска определяют также по формуле (64). Время переналадки зависит от того, какая принята система переналадки.

Если переналадку начинают после прохождения последней заготовки обрабатываемой партии изделий по всей линии, то время переналадки состоит из следующих величин:

$$t_{пер} = (t'_{шт} + t'_{тр})n + t_{нал}, \quad (65)$$

где n — количество позиций линии; $t_{ш}^*$ — штучное время обработки первой заготовки второй партии:

$t_{тр}$ — время перемещения между позициями линии первой заготовки второй партии; $t_{нал}$ — время наладки на новую заготовку.

Если переналадка начинается сразу после окончания обработки последней заготовки первой партии на первом станке, то общее время на переналадку

$$t_{пер} = (t_{ш} + t_{тр})n + \eta t_{нал}, \quad (66)$$

где $t_{ш}$, $t_{тр}$ — величины штучного времени и времени перемещения при обработке деталей первой партии;

$\eta < 1$ — коэффициент, учитывающий часть несовмещенного времени переналадки для случая, когда последняя заготовка уже прошла все операции, а переналадка не закончена.

Система переналадки, рассчитанная по формуле (66), позволяет несколько уменьшить простой линии при переналадке.

Действительно, при $n = 10$; $t_{ш}^* = 1,5$ мин; $t_{ш} = 1$ мин; $t_{тр} = t_{тр}^* = 0,25$ мин время наладки одного станка 80 мин, время наладки 10 станков $t_{нал} = 80 \cdot 10 = 800$ мин; $\eta = 0,9$.

Подставив эти величины в формулу (65), получим

$$t_{пер} = (1,5 + 0,25) \cdot 10 + 800 = 817,5 \text{ мин.}$$

При подсчете по формуле (66)

$$t_{пер} = (1 + 0,25) \cdot 10 + 0,9 \cdot 800 = 732,5 \text{ мин.}$$

Выигрыш времени на одну переналадку

$$t = t_{пер}^* - t_{пер} = 817,5 - 732,5 = 85 \text{ мин.}$$

При включении в технологический процесс автоматических манипуляторов (роботов) * необходимо учесть время, требуемое для перемещения заготовки на станок и со станка и перемещение ее на следующую операцию.

Конструкции, назначение и технические данные роботов разнообразны. Поэтому время срабатывания их рассчитывается в каждом отдельном случае. Для ориентировки приводятся некоторые средние данные о времени загрузки — разгрузки и перемещения заготовок с массой 20—40 кг.

Скорость движения рабочих частей (захватов) 0,5—1,0 м/с. Время поворота «руки» от рабочего места к станку 120 град/с. Среднее время цикла 15—30 с. Длина перемещения руки 1 м. Точность позиционирования заготовки 2—3 мм.

В механических цехах часто необходима промежуточная сборка, которая тоже является внестаночной операцией. Например, при отъемных крышках подшипников в коробках скоростей или блоках цилиндров двигателей следует предварительно обработать стыковые поверхности сопрягаемых деталей отдельно, затем собрать их и обработать совместно.

* Подробно автоматические манипуляторы изучают в курсе «Промышленные роботы».

Контрольные операции предназначены для проверки качества выпускаемой продукции. Эти операции включают в технологические карты, в которых указывают средства контроля, как-то: калибры-скобы, калибры-пробки, резьбовые калибры и другие; а также, если необходимы специальные проверки, измерительные приборы, контрольные приспособления и контрольные автоматы. Технический контроль в цехах сосредоточивается на контрольных пунктах.

Формы организации технического контроля в цехах зависят от типа производства. В единичном и мелкосерийном производстве тяжелые детали проверяют обычно на рабочих местах, легкие — на контрольном пункте. В серийном производстве с переменнo-поточными линиями или в пролетах с замкнутыми циклами обработки типовых деталей контрольные пункты ставят в конце потока для приемки готовых деталей. На промежуточных операциях проверяют и принимают заготовки на рабочих местах. В поточно-массовом и автоматизированном производстве контрольные пункты включают в поток, и ритм контроля подчиняется ритму движения заготовки в потоке. Однако контролеры, работающие в потоке, не зависимы от администрации цеха и подчиняются отделу технического контроля.

Способ контроля и нормы времени на выполнение контрольных операций определяют по опытным данным. В соответствии с трудоемкостью этих операций определяют их себестоимость.

Подробно вопросы технического контроля изучают в курсах «Основы взаимозаменяемости и технических измерений» и «Организация и экономика производства».

§5. ОБЩАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разрабатывая варианты технологических процессов с подбором оборудования для новых заводов или заменяя старое оборудование новым на действующих заводах, необходимо оценить в комплексе экономическую эффективность варианта. Методы расчетов экономической эффективности приведены в [2]. В основном оценка должна быть произведена по двум важнейшим показателям — сроку окупаемости затрат и годовой экономии, получаемой от внедрения новых машин или их системы.

Эти показатели связаны соотношением, лет,

$$T_{\text{ок}} = \frac{3}{9}, \quad (67)$$

где 3 — затраты на приобретение или изготовление оборудования, руб.

Для машиностроения установлен нормативный срок окупаемости, лет,

$$T_{\text{ок}} = 3 \div 7.$$

Величину, обратную $T_{\text{ок}}$, называют коэффициентом экономической эффективности капитальных вложений на внедрение новой техники:

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок}}}.$$

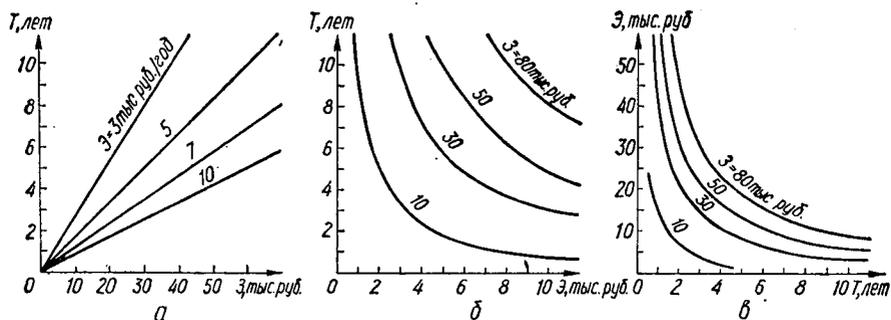


Рис. 14. Графики для определения сроков окупаемости нового оборудования:
 Т — срок окупаемости; Э — годовая экономия; З — капитальные затраты.

При известной годовой экономии Э, задаваясь сроком окупаемости $T_{ок}$, из формулы (67) можно найти величину допустимых затрат, руб.

$$З = T_{ок} Э.$$

Если известны затраты З и задан срок окупаемости, то из той же формулы (67) определяют необходимую минимальную годовую экономию:

$$Э = \frac{З}{T_{ок}}.$$

Годовую экономию вычисляют по формуле

$$Э = C_1 - C_2, \tag{68}$$

где C_1 — себестоимость годового объема продукции по одному варианту или по действующему процессу; C_2 — себестоимость того же объема продукции при применении нового оборудования.

Предполагается, что

$$C_1 > C_2.$$

Размер капитальных затрат вычисляют как разность между затратами Q_1 по одному варианту и затратами Q_2 по другому варианту, предполагая, что $Q_2 > Q_1$:

$$З = Q_2 - Q_1. \tag{69}$$

Из формул (67) — (69) находят срок окупаемости

$$T_{ок} = \frac{Q_2 - Q_1}{C_1 - C_2}. \tag{70}$$

Размер капитальных затрат Q_i определяют по плановой цене оборудования, прибавляя расходы на монтаж.

Себестоимость годового объема продукции определяют на основании формулы (21) как

$$C = m \sum_1^n C_i; \quad i = 1; 2; \dots; n, \tag{71}$$

где n — количество деталей в одной машине; m — количество машин, выпускаемых в год (программа выпуска); C_i — себестоимость одной детали.

Подставляя значения себестоимости C_i в уравнение (71) и определяя для сравниваемых вариантов величины C_1 и C_2 , Q_1 и Q_2 , по формуле (70) определяют срок окупаемости нового оборудования.

На основе формул (67) и (70) построены графики зависимости срока окупаемости от капитальных затрат при различной экономии (рис. 14, а), срока окупаемости от годовой экономии при различных затратах (рис. 14, б) и зависимости годовой экономии от срока окупаемости при различных затратах (рис. 14, в).

ГЛАВА II

КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

§6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАЗЫ И УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

По ГОСТ 21495—76 база — это поверхность или сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования, т. е. для придания заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Технологическими называют базы, используемые для определения положения заготовки (изделия) при изготовлении (ремонте). В соответствии с правилом шести точек при ориентировании заготовки в приспособлении базы различают по лишаемым степеням свободы — установочные, направляющие и опорные; по характеру проявления — скрытые или явные. Базы, используемые для определения относительного положения заготовки (изделия) и средств измерения, называются измерительными.

Практически используются дополнительные базы (рис. 15), которые делаются на самой детали (центровые отверстия, фрезерованные площадки, технологические отверстия и пр.). Иногда они выполняются в виде отдельных приливов, которые необходимы только для установки и обработки заготовок на станках. При установке необработанной заготовки на первой операции в приспособлениях или на столах станков желательно выбирать те поверхности, которые можно обработать на чисто для точной установки заготовки на последующих операциях.

При выборе величины припусков по таблицам рекомендуется рассчитать минимальный припуск на сторону для выполняемой обработки по формуле проф. В. М. Кована

$$Z_{b \min} = (H_a + T_a) + (\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_b),$$

где H_a — средняя высота поверхностных микронеровностей; T_a — глубина дефектного поверхностного слоя; $\bar{\rho}_a$ — геометрическая сумма

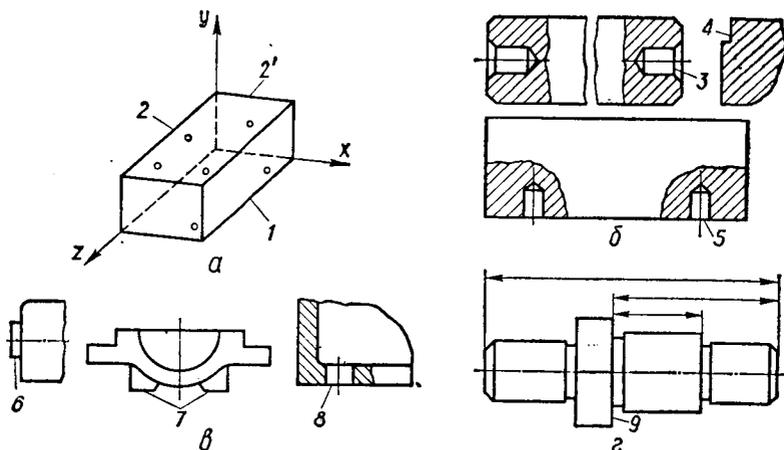


Рис. 15. Технологические базы деталей:

a — определяемые по правилу шести точек: 1 — установочная база; 2 — направляющая база; 2' — опорная база; 3 — дополнительные базы, выполняемые на детали; 3 — центровые отверстия; 4 — фрезерованная площадка; 5 — установочные отверстия; 6 — дополнительные базы, выполняемые в виде приливов; 6 — опорная бобышка; 7 — установочные приливы; 8 — прилив с установочным отверстием; 9 — измерительная база; 9 — торец.

пространственных отклонений, взаимно связанных поверхностей обрабатываемой заготовки; $\bar{\epsilon}_b$ — погрешность установки.

Индекс *a* у слагаемых припуска указывает, что данная составляющая должна быть принята по предшествующему переходу, а индекс *b* присваивается величинам, относящимся к выполняемому переходу.

Общий минимальный припуск на обработку детали равняется сумме межоперационных припусков, рассчитанных по этой формуле. По таблице выбирают величину припуска, ближайшую к расчетной.

Технологические базы выбирают так, чтобы при установке на первой операции по черновой базе можно было обработать такую базу, при установке на которую в дальнейшем можно было бы надежно и с требуемой точностью вести обработку заготовок. Часто также готовят дополнительные базы в виде двух отверстий 5 (см. рис. 15, б), которые ориентируют заготовку в приспособлении при установке ее отверстиями на два пальца — гладкий и срезанный. Такая установка позволяет хорошо закрепить заготовку, конструкция приспособления при этом наиболее проста.

Если деталь неустойчива или у нее нет достаточной для установки плоской поверхности, на детали делают дополнительные базы в виде приливов, бобышек или приливов с установочными отверстиями (рис. 15, в).

Основными операциями называют такие операции, которые имеют большую трудоемкость и должны выполняться с большой точностью. Второстепенные операции выполняются с меньшей точностью, но разработке и выполнению их нужно уделять не меньшее внимание, чем основным. Например, плохо выполненная фаска или смазочное отверстие могут служить основанием для браковки детали.

Основные операции при обработке корпусных деталей можно разделить на две группы. Первая группа — фрезерование или строгание и, в случае необходимости, шлифование плоских поверхностей.

Вторая группа — это растачивание, разрезывание или шлифование точных отверстий, связанных между собой точными межосевыми расстояниями.

Второстепенные операции — это сверление неточных мелких смазочных отверстий, сверление и нарезание отверстий под крепежные детали, зенкование отверстий, изготовление всевозможных канавок, фрезерование малых площадок и т. п.

Погрешности установки возникают из-за неточности обработки технологических баз, из-за деформации базовых поверхностей при длительном вылеживании детали, из-за малых размеров базы, из-за объемных деформаций заготовки при закреплении ее в приспособлении или на столе станка, из-за неточностей установочных элементов приспособления и неточной установки заготовки, из-за контактных деформаций на установочных поверхностях заготовки и приспособлений, из-за неправильного приложения зажимных усилий. Наибольшее значение имеют погрешности базирования (свыше 60 % всех погрешностей).

Погрешности обработки связаны с износом и затуплением инструментов, погрешностями геометрической формы инструментов, погрешностями направляющих частей приспособлений (например, кондукторных втулок), отжатием инструментов, деформациями инструментов из-за разогрева их, погрешностями настройки. Такие погрешности составляют около 30 % всех погрешностей.

Оптимальные режимы обработки определяются при работе единичными инструментами на основе методики, изучаемой в курсе «Учение о резании металлов». Экономическую стойкость и стойкость наибольшей производительности комплектов инструментов при работе многоинструментальных станков определяют по методике (с. 48). Режимы обработки деталей из чугуна приведены в приложении 2.

Транспортирование корпусных деталей. Вес корпусных деталей обычно составляет несколько десятков и сотен килограммов. Поэтому вопрос о перемещении их между станками должен быть продуман при разработке технологического процесса.

В единичном и мелкосерийном производствах заготовки подаются на площадку около станка мостовым краном. У станка должен быть местный кран (пневмоподъемник или тельфер, укосина с тельфером и т. п.) для подъема и установки заготовки на станок и для снятия заготовки или детали со станка.

В серийном и крупносерийном производстве в переменном-поточных и постоянно-поточных линиях чаще всего применяются фольганги.

Условия, влияющие на комплексные технологические процессы. Ввиду большого разнообразия форм и размеров деталей машин, наличия на заводах различного оборудования разработка типовых технологических процессов, пригодных для любого машиностроительного завода, даже в пределах одного класса типичных деталей не осуществима. Типовые процессы могут служить только основой для разработки

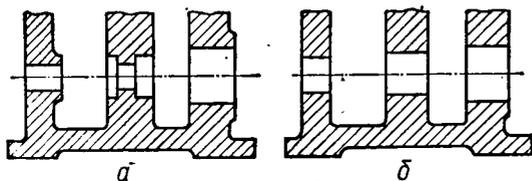


Рис. 16. Формы растачиваемых отверстий: а — поочередная обработка отверстий; б — одновременная обработка отверстий.

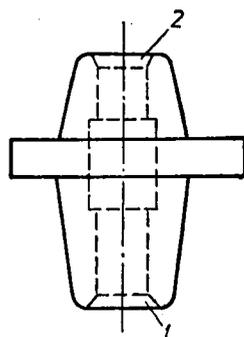


Рис. 17. Втулка.

конкретных процессов. По этим же причинам для каждого класса деталей будет свое направление технологического процесса. Однако есть ряд общих условий, которые определяют до некоторой степени направление технологического маршрута при обработке деталей всех типов. Это — конструкция деталей, требования точности обработки, применение технологических средств повышения износоустойчивости и надежности машин, соблюдение принципа единства базы, необходимость обработки с одной установки, необходимость выявления брака на первых операциях.

Конструкция деталей. В большинстве случаев при обработке деталей типа «тела вращения» главной является обработка на различных токарных станках (универсальных, токарно-револьверных, токарных, полуавтоматах и автоматах), а также на универсальных, круглошлифовальных и бесцентровошлифовальных.

При обработке корпусных деталей на расточных станках направление процесса и тип инструмента выбирают в зависимости от формы и расположения растачиваемых отверстий.

При обработке отверстий по рис. 16, а требуется раздельное растачивание каждого отверстия и смена инструмента при обработке среднего отверстия. Обработывая отверстия по рис. 16, б, можно применить комбинированный инструмент и обработать все отверстия за одну установку.

Требования точности обработки. Конечные операции по обработке самых точных поверхностей в большинстве случаев должны выполняться последними. Иногда для этого требуется повторная обработка одних и тех же поверхностей. Это и определяет направление технологического маршрута.

Применение технологических средств повышения износоустойчивости и надежности машины (термообработка поверхностей трения, упрочнение поверхностных слоев, повышение качества отделки поверхностей трения) значительно влияет на технологический процесс. Термообработка часто определяет маршрут. Например, если необходимо иметь твердые и мягкие поверхности на деталях, подвергаемых цементации и закалке, на тех поверхностях, которые должны быть мягкими, при механической обработке оставляют припуск на снятие зацементированного слоя. Затем детали отправляют на термообработку, а после нее — снова на механическую обработку, чтобы снять зацементирован-

ный слой. После закалки те поверхности, с которых был снят зацементированный слой, останутся мягкими.

При старении деталей всю черновую обработку следует сделать до старения, чистовую и отделочную — после старения.

Соблюдение принципа единства базы при рационально выбранной базе также определяет технологический процесс.

Необходимость обработки с возможно меньшим числом установок для достижения требуемой точности определенных поверхностей часто определяет маршрут обработки.

Необходимость выявления брака на первых операциях заставляет изменять технологический маршрут. Например, втулку, показанную на рис. 17, обрабатывали сначала со стороны 1. После изготовления точного центрального отверстия втулка обрабатывалась со стороны 2. Но так как заготовка отливалась в положении, указанном на рис. 17, то на верхнем торце образовались усадочные раковины. Они открылись, когда деталь была уже полностью обработана. Деталь пришлось выбросить. После изменения последовательности обработки (торец 2, отверстие, торец 1) и добавления припуска по торцу 2 брак стал выявляться на первой операции.

Выбор рационального оборудования. При выборе рационального оборудования необходимо руководствоваться масштабами производства (объемом выпуска продукции, типом производства), возможностями достижения необходимой точности деталей и экономическими соображениями. В единичном производстве в большинстве случаев применяются станки общего назначения (универсальные, токарные, строгальные, продольно-фрезерные, расточные, сверлильные, шлифовальные и др.). Заготовки устанавливают на столах станков и закрепляют планками и прихватами. Иногда применяют простые групповые приспособления с винтовыми зажимами.

В единичном, мелкосерийном и серийном производстве должны быть выделены станки для черновой и чистовой обработки. Черновую обычно выполняют на изношенных станках, чистовую — на станках новых или находящихся в хорошем состоянии.

В серийном производстве частично применяют универсальные станки, частично специализированные, специальные агрегатные станки. Универсальные станки оснащают приспособлениями, уменьшающими время на установку, выверку и закрепление заготовок. В современных приспособлениях применяют быстродействующие пневматические и гидравлические зажимы. Применяют станки с программным управлением (сверлильные, токарные, фрезерные и др.), станки с программным управлением и автоматической заменой режущих инструментов (обрабатывающие центры). На станках последнего типа соответствующие переходы, указанные в табл. 6, выполняют в любой последовательности.

В крупносерийном и массовом производстве мелкие детали из штучных заготовок обрабатывают на полуавтоматах, детали из прутка — на автоматах. Корпусные детали обрабатывают на поточных или автоматических переналаживаемых и непереналаживаемых линиях станков с высокой концентрацией обработки. Это осуществляется,

Таблица 6. Основные типы станков с программным управлением и области их применения

Станки	Область применения
Токарные, токарно-револьверные, токарные гидрокопировальные	Повторяющиеся небольшие партии деталей (15—20 шт.) типа «круглые стержни» (валы), «полюсы цилиндры» (втулки) с диаметрами и длиной обработки, соответствующими возможностям станка
Сверлильные с координатным столом	Небольшие и средние партии деталей (15—50 шт.) типа пластин, фланцев с большим количеством однородных отверстий, расположенных в координатной плоскости <i>ху</i> . Смена инструментов ручная
Сверлильные с револьверной головкой на шесть — восемь инструментов	Небольшие и средние партии деталей (15—100 шт.) с отверстиями, требующими сверления, зенкерования, развертывания, зенкования, растачивания, подрезания торцов, нарезания резьбы в деталях типа фланцев, рычагов и т. п.
Расточные с программным управлением перемещениями стола, шпиндельной бабки и шпинделя	Средние партии (20—50 шт.) коробчатых деталей с отверстиями, расположенными в четырех стенках, требующих сверления, растачивания отверстий, фрезерования плоскостей и нарезания резьбы метчиками. Смена инструментов — ручная
Фрезерные вертикальные одношпиндельные	Повторяющиеся небольшие партии (20—50 шт.) деталей плоской и призматической формы с размерами около 900×300×300 мм, обрабатываемые с одной или двух сторон в два или три перехода с одной установки. Возможна контурная обработка деталей сложной конфигурации, требующих при обычной обработке большого вспомогательного времени и сложных приспособлений
Фрезерные вертикальные с револьверной головкой на шесть — восемь инструментов	Повторяющиеся средние партии (20—100 шт.) призматических и небольших корпусных деталей с максимальными размерами около 900×300×300 мм с несколькими различно расположенными плоскостями обработки, требующими при обычной технологии большого вспомогательного времени и разнообразных операций (фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, зенкования и растачивания).
Обрабатывающие центры с магазином инструментов и автооператором для автоматической смены инструментов	Повторяющиеся средние партии (50—100 шт.) призматических и коробчатых корпусных деталей с размерами примерно от 300×200×150 мм до 700×300×300 мм и больше. Применяются при обработке деталей, требующих более шести — восьми инструментов. Возможны переходы фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, зенкования, растачивания, нарезания резьбы. Допускают многостороннюю обработку деталей на поворотном столе, требующих при обычной обработке разметки или применения дорогостоящих приспособлений.

главным образом, применением в линиях специализированных, специальных и агрегатных станков — фрезерных, сверлильных, расточных, резьбонарезных.

В крупносерийном производстве, когда нельзя загрузить полностью переналаживаемую линию деталями одного типоразмера, изготавливают автоматические линии с переналаживаемыми агрегатными станками для обработки однотипных деталей. В этих линиях для расширения области применения и повышения загрузки предусмотрены общие позиции для обработки одинаково расположенных отверстий и поверхностей и дополнительные позиции для несходных поверхностей.

Получают распространение автоматические линии, составленные из обрабатывающих центров с программным управлением и автоматической заменой режущих инструментов.

Чтобы определить, можно ли на том или ином станке экономично обработать заготовку с требуемой точностью и скоростью, необходимо иметь паспорт станка и данные о его стоимости, о достижимой точности обработки на станках определенного вида. На основе намеченной технологии делают расчеты штучного и калькуляционного времени.

Чтобы определить экономическую эффективность процесса по времени обработки, следует рассчитать и сравнить себестоимости программы по формулам (33) и вычислить срок окупаемости того или иного оборудования по формуле (67).

§7. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Производительность и эффективность автоматизированного производства больше зависит от качества технологического процесса, чем неавтоматизированного. В современном машиностроении применяется частичная и комплексная автоматизация.

Существуют следующие формы частичной автоматизации:

1) автоматизация отдельных движений обрабатывающего станка (движения шпинделя сверлильного станка при ручной загрузке деталей на позицию обработки);

2) автоматизация движения деталей в процессе обработки (автоматическая загрузка деталей при ручном управлении процессом обработки);

3) внедрение в производство отдельных автоматов и полуавтоматов, агрегатных станков, станков с программным управлением и обрабатывающих центров, изготавливаемых на специальных заводах;

4) автоматизация перемещения деталей между автоматами связыванием их автооператорами и другими транспортными устройствами;

5) превращение полуавтоматов в автоматы добавлением к ним грузочно-разгрузочных устройств, а также автооператоров (манипуляторов).

При комплексной автоматизации производства предусматривается устройство автоматических линий, цехов и заводов. Автоматические линии можно составлять из специальных станков или из станков об-

шего назначения. В последнем случае для работы в автоматическом цикле станки надо существенно модернизировать.

Больше всего особенностей в технологии машиностроения появилось в результате применения станков с программным управлением, комплексной автоматизации производства, автоматизированных или автоматических линий.

Особенности технологии при работе на станках с программным управлением. Применительно к главным типам станков, указанных в табл. 7, приведены следующие особенности технологии машиностроения:

1. Чертеж должен быть подготовлен так, чтобы размеры, характеризующие параметры и положение обработанных поверхностей, указывались координатами опорных точек обработанной поверхности (рис. 18).

2. В большинстве случаев обработка проектируется как последовательная по методу дифференциации операций. Иногда, если есть большие обрабатывающие центры, возможна комбинированная обработка по методу дифференциации и концентрации однородных инструментов, с применением многошпиндельных головок, многолезцовых державок и сменных наладок.

3. В ряде случаев для лучшего использования дорогих станков может потребоваться изменение конструкции детали. Для этого желателен подбор группы деталей с одинаковыми конструктивными элементами, например, диаметрами и глубинами отверстий, шириной и длиной пазов и т. п.

4. Для обрабатывающих центров с программным управлением основной особенностью является возможность выполнения большого количества переходов за одну установку заготовки (фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, зенкование, растачивание и резбонарезание) в одной или нескольких плоскостях. Вторая особенность связана с автоматической сменой инструментов. Имеются определенные ограничения в выборе их, так как магазинные устройства и автооператоры для смены инструментов ограничивают их диаметр, длину и вес. Закрепление инструментов в шпинделе должно быть единообразным для станков одного типа.

5. Сверлильные и расточные операции выполняются короткими сверлами и жесткими, короткими борштангами (длинные борштанги трудно автоматически заменять). Следствием этого являются ограничения длины растачиваемых отверстий. Соосные расточки в противоположных стенках детали выполняются при повороте стола с деталью на 180° , что вносит некоторые погрешности в соосность отверстий (вызываются погрешностями индексации стола).

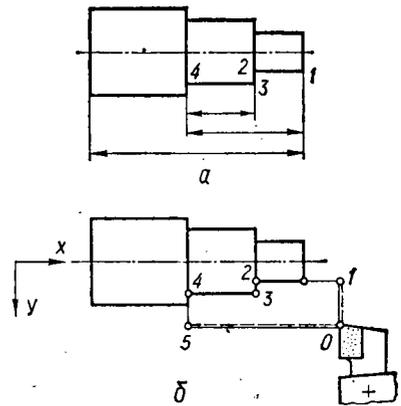


Рис. 18. Чертеж детали для вычисления координат:
а — рабочий чертеж; б — опорные точки.

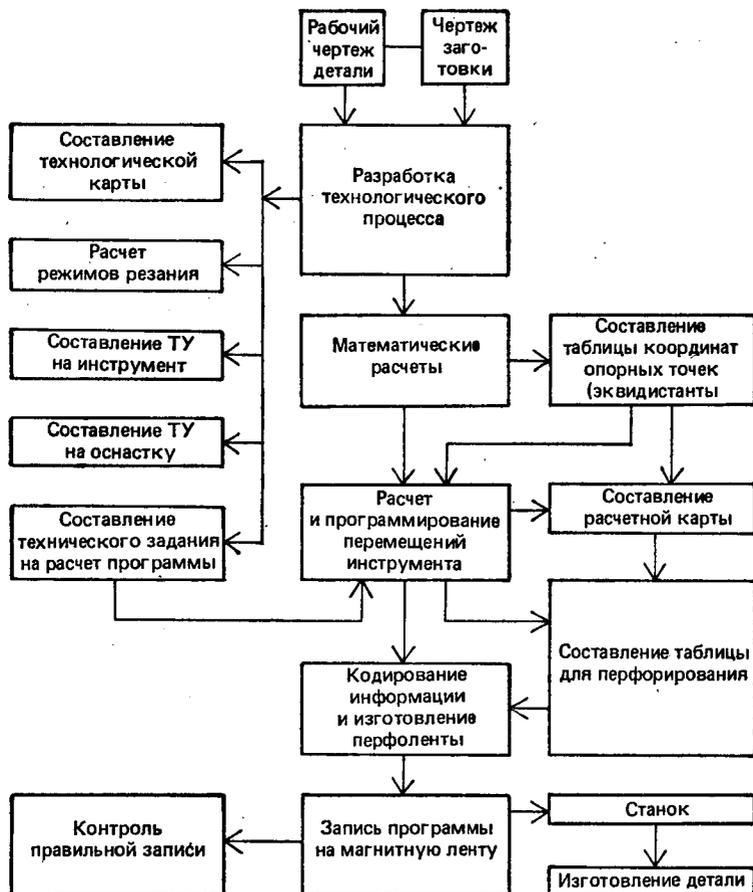


Рис. 19. Схема разработки технологического процесса обработки заготовки на фрезерном станке с программным управлением.

6. Кондукторные плиты и кондукторные втулки не применяют.

7. Подрезание внутренних торцов отверстий и растачивание внутренних канавок в отверстиях можно выполнять оправками с радиальной подачей резцов. Подрезание наружных торцов — облицовочными зенкерами.

8. Фрезерные операции выполняются торцевыми, концевыми, Т-образными, угловыми, фасонными и дисковыми фрезами с ограничением размера и веса, как было указано в п. 5.

9. Экономия вспомогательного времени на обрабатываемых центрах получается тем больше, чем сложнее вся операция обработки и чем меньше холостые ходы при смене инструмента.

10. Трудные черновые операции со снятием больших припусков на таких станках выполнять нецелесообразно, так как это приводит к потере точности станка. Если необходимо, большой припуск должен быть снят за несколько проходов инструмента.

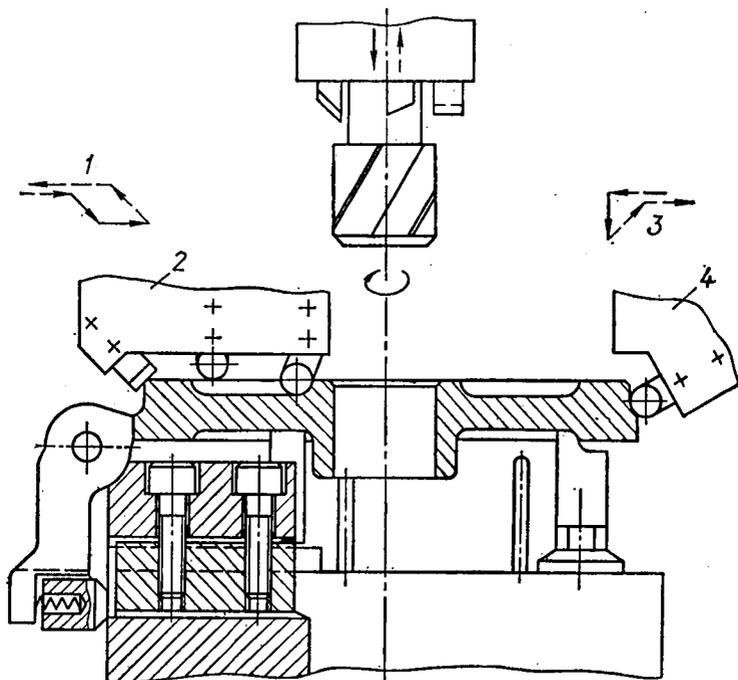


Рис. 20. Пример концентрированной обработки:
 1 — цикл движения поперечного суппорта 2; 3 — цикл движения продольного суппорта 4.

11. Первостепенное значение имеет качество и точность режущих инструментов. Поэтому на такие инструменты и размерную настройку их вне станка необходимо составлять особые технические условия.

12. Для того чтобы можно было ввести в программу данные о последовательности смены инструментов, следует разработать каталог применяемых инструментов с соответствующим кодированием их.

13. Настраивают инструменты на размер вне станка на специальных настроечных приспособлениях.

Общая схема разработки технологического процесса для обработки заготовки на фрезерном станке с программным управлением показана на рис. 19.

Особенности технологии при применении автоматических линий:

1. Повышение требований к качеству заготовок. Форма заготовок должна возможно больше соответствовать форме готовой детали, иметь небольшие припуски на обработку для уменьшения механической обработки на станках. Требуется стабильность размеров заготовок, чтобы избежать задержек их в транспортных устройствах, и стабильность структуры материала для обеспечения постоянства условий обработки. Форма заготовок должна быть такой, чтобы после зажима заготовка не могла смещаться под действием сил резания. Например, при зажатии круглых заготовок в призмах заготовка не должна иметь огранки.

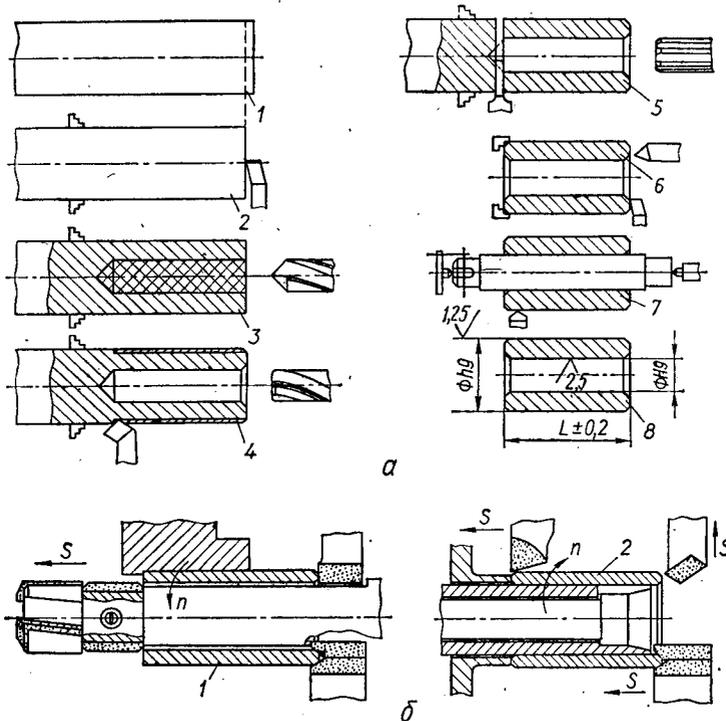


Рис. 21. Обработка втулок:

a — на универсальных станках: 1 — заготовка; 2 — подрезка торца; 3 — сверление; 4 — зенкерование, обточка по верху, снятие фасок; 5 — развертывание, отрезание; 6 — подрезание торца в размер, снятие фасок; 7 — обточка по верху на оправке; 8 — готовая деталь; *b* — на автоматической линии: 1 — многоинструментная обработка с одной стороны; 2 — многоинструментная обработка с другой стороны.

2. Максимально возможная концентрация обработки в связи с необходимостью уменьшения количества оборудования в линии. Это достигается применением многоинструментных наладок (рис. 20) и комбинированного инструмента.

3. Специальная последовательность обработки, которая в большинстве случаев отлична от применявшейся при обычном серийном или поточном производстве. Из сравнения рис. 21, *a* и *b* можно видеть, как изменяется обычный процесс обработки втулки при переходе к обработке на автоматической линии.

Наладку по рис. 21, *b* можно применять и в неавтоматизированном производстве. Но в данном случае она применима в связи с требованием предыдущего пункта об уменьшении количества оборудования в линии.

Как изменялась последовательность обработки при автоматическом производстве колец роликоподшипников, показано на рис. 22. При неавтоматизированном производстве (рис. 22, *a*) шлифовались буртики колец, служившие базой для следующей операции. Затем шлифовалось отверстие, шлифовалась и притиралась дорожка. При разработке вариантов автоматизации выяснилось, что автоматизация такого про-

песса с установкой заготовки в патрон и на разжимную оправку вызывает большие конструктивные трудности, не дает необходимой точности и требует много станков.

Для автоматизированного производства колец была выбрана другая база — дорожка на кольце. Это позволило отменить шлифование большого буртика, применить на всех переходах одну и ту же базу, сократить количество станков, найти простые конструктивные решения автоматических загрузочно-разгрузочных устройств на станках, повысить точность деталей и производительность труда.

В общем случае черновые переходы, вызывающие нагрев и деформацию заготовки, не следует совмещать в одной позиции с чистовыми. Между черновыми и чистовыми переходами обработки точных поверхностей следует включать обработку, не вызывающую значительного нагрева детали.

4. Изменение в ряде случаев конструкции обрабатываемой детали для приспособления ее к автоматическому процессу. Например, для обработки поршня двигателя на автоматическом заводе поршней сделали в нем дополнительные установочные приливы 1, 2 (рис. 23).

5. Синхронизация работы всех позиций линии, т. е. получение равных или кратных по длительности операций распределением лимитирующих операций на несколько позиций или введением параллельных потоков обработки.

6. Замена инструмента по графику в зависимости от времени размерной стойкости инструментов. Для экономичной обработки и правильного использования инструментов необходим расчет оптимальной стойкости комплекта режущих инструментов.

7. Применение блочных конструкций однотипных инструментов для уменьшения потерь времени на замену их (рис. 24). Предварительная сборка блоков и установка инструментов на точный размер делается вне линии. Заточка инструментов централизуется.

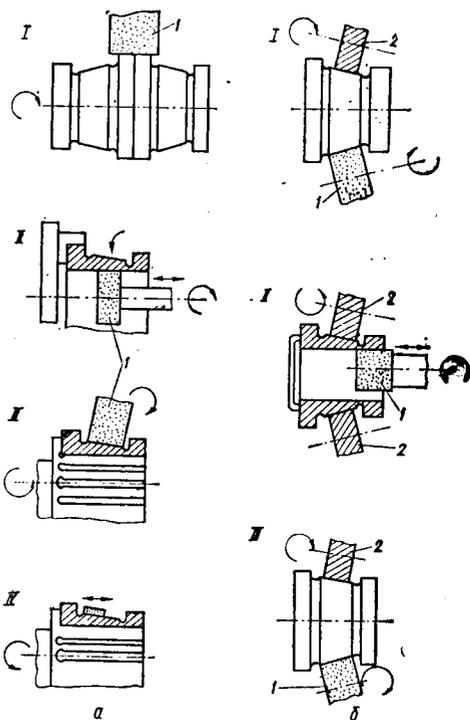


Рис. 22. К обработке колец роликоподшипников:

а — в поточной линии: I — шлифование бурта; II — шлифование отверстия; III — шлифование дорожки; IV — притирание дорожки б — в автоматической линии: I — получистовое шлифование дорожки на бесцентровом автомате; II — шлифование отверстия на бесцентровом автомате; III — чистовое шлифование дорожки на бесцентровом автомате; 1 — шлифовальный круг; 2 — поддерживающий ролик.

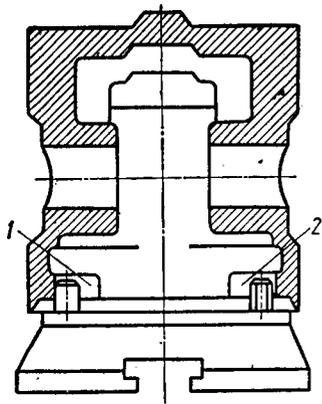


Рис. 23. Изменение конструкции поршня при изготовлении его в автоматической линии:

1, 2 — дополнительные приливы.

8. Применение средств для быстрого закрепления инструментов и деталей (эксцентрик, пневмо- и гидрозажимов).

9. Своевременный и полный отвод стружки из рабочей зоны. Для этого применяют средства дробления стружки и средства для автоматического ее удаления от станков, как например: применение стружколомов при обработке стали; автоматическое выдувание стружки из отверстия сжатым воздухом; применение опрокидывателей со встряхиванием детали; смывание стружки струей жидкости под давлением; отсос стружки под вакуумом; применение шнековых транспортеров.

10. Введение в линию термообработки с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) там, где она требуется.

11. Автоматический контроль механической обработки и термообработки на промежуточных операциях.

12. Специальное положение детали во время обработки для упрощения загрузки-выгрузки и контроля, упрощения технологии и конструкции станков. Например, при обработке поршня в автоматической линии принято вертикальное положение его оси (рис. 23), в то время как в неавтоматической линии поршень обрабатывается при горизонтальном положении оси.

В обычной поточной линии шестерни обрабатывают и при горизонтальном и при вертикальном положении оси. В автоматической линии эти детали обрабатывают только при вертикальном положении оси (рис. 20).

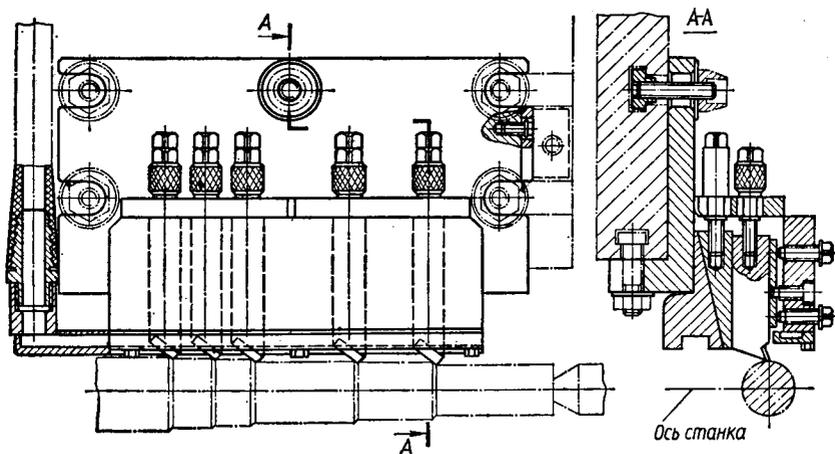


Рис. 24. Блок инструментов.

§8. ОБРАБОТКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Общие сведения. Корпусные детали являются базирующими деталями машин или узлов. К ним относятся станины, плиты, корпуса коробок передачи, блоки цилиндров двигателей, барабаны многошпиндельных автоматов и т. п. (рис. 25). В эту же группу деталей входят стойки, траверсы, угольники и подобные им детали, обработка которых проще, чем базирующих, но выполняется с помощью тех же приемов.

Основные технологические задачи состоят в получении точных плоских поверхностей, точных гладких, ступенчатых и резьбовых отверстий, с соблюдением в заданных пределах правильного расположения

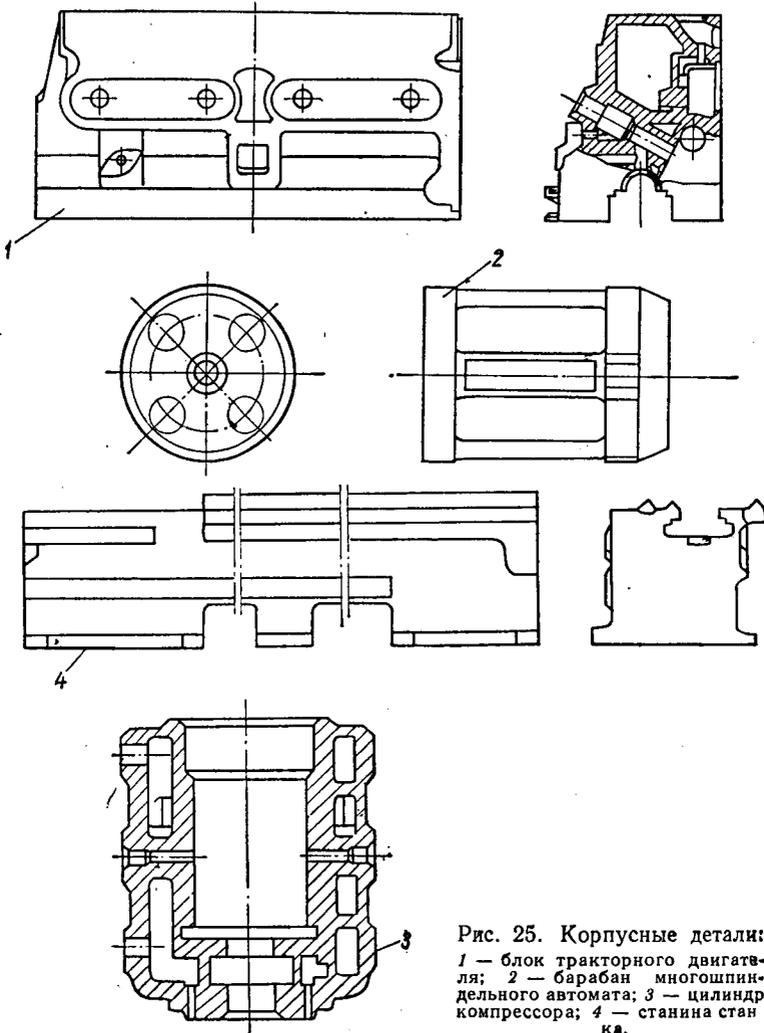


Рис. 25. Корпусные детали:
1 — блок тракторного двигателя;
2 — барабан многошпиндельного автомата;
3 — цилиндр компрессора;
4 — станина станка.

Таблица 7. Технические условия на обработку корпусных деталей

Условие	Допустимые отклонения
Прямолинейность плоских поверхностей трения	0,02—0,03 мм на длине 1000 мм
Непараллельность плоскостей	0,03—0,05 мм
Точность диаметральных размеров отверстий	7—9-й класс
Точность расстояний между осями отверстий (в среднем)	0,05—0,08 мм
Непараллельность осей отверстий и плоскостей	0,02—0,03 мм на длине 400 мм
Непараллельность осей отверстий	0,05—0,06 мм на длине 400 мм
Неперпендикулярность осей отверстий и плоскостей бобышек	0,03—0,04 мм на радиусе 100 мм
Параметры шероховатости поверхностей	2,5—0,32 мкм
Параметры шероховатости точных отверстий	1,25—0,16 мкм

осей отверстий относительно плоских поверхностей и между собой. Часто требуется также соблюдение правильности углового расположения одних плоских поверхностей относительно других и правильности углового расположения осей отверстий относительно плоских поверхностей. Кроме того, на поверхностях трения детали и для мест с особо точными посадками требуется достижение при обработке заданных параметров шероховатости.

Технические условия на изготовление корпусных деталей устанавливаются в зависимости от вида и назначения детали (более подробно их рассматривают в типовых процессах обработки типичных деталей).

Основные обобщенные технические условия на обработку корпусных деталей типа коробок передач даны в табл. 7.

Для деталей типа стоек, угольников, кронштейнов пределы отклонений величин, указанных в табл. 7, несколько увеличиваются для таких деталей, как блоки многошпиндельных автоматов, блоки цилиндров двигателей — уменьшаются.

Те или иные величины назначает конструктор, исходя из условий работы деталей, сопрягаемых с базисной деталью, и в ряде случаев они регламентируются соответствующими стандартами.

Материал. Корпусные детали в серийном и массовом производстве отливают чаще всего из чугуна. Наибольшее количество корпусных деталей изготавливают из чугуна марок СЧ15-32, СЧ18-36, СЧ21-40 по ГОСТ 1412—79. Для машин, выпускаемых в небольшом количестве (1—3 шт.), иногда выгодно изготавливать сварные детали из листовой стали марок Ст3, Ст5. Иногда крупные детали делают из стального литья.

Наиболее ответственные детали, работающие в условиях высоких температур, интенсивного изнашивания поверхности от трения, или детали, к которым предъявляются высокие требования к надежности их работы, изготавливают из чугунов марок СЧ24-44; СЧ28-48 ГОСТ 1412—79.

Корпусные детали, работающие в условиях знакопеременных нагрузок, изготавливают из ковкого чугуна марок КЧ35-10, КЧ 37-12 ГОСТ 1215—79.

Небольшие корпусные детали иногда изготавливают из алюминия, ковкого чугуна, бронзы, специальных сплавов.

Заготовки корпусных деталей. Чугунные заготовки получают в виде отливок. Качество отливок и величина припусков на обработку зависят от величины деталей, принятого способа формовки, вида моделей и квалификации формовщика. В единичном и серийном производстве при изготовлении чугунных деталей применяют ручную формовку. При формовке по деревянным моделям припуски на обработку получаются почти в полтора раза больше, чем при формовке по металлическим моделям. Формовка по металлическим моделям выгодна при партиях деталей 40—50 штук в месяц и изготовлении таких деталей в продолжение трех-четырех лет.

Машинная формовка по металлическим моделям, применяемая при изготовлении небольших отливок в крупносерийном и массовом производстве, дает возможность оставлять меньшие припуски на обработку.

Для небольших заготовок весом до 50—60 кг из сплавов цветных металлов и чугуна применяют литье в кокиль. Небольшие тонкостенные детали (например, блок цилиндров мотоциклетного двигателя) получают литьем качественного чугуна в оболочковые формы. Сварные корпусные детали сваривают из многих частей, изготавливаемых из листового материала. Материал разрезают на части в соответствии с чертежом на газорезательных аппаратах или на гильотинных ножницах. Стыковые кромки должны быть простроганы или профрезерованы.

Выгодность применения сварных деталей вместо чугунных определяют по формуле

$$c_1 P_1 + z_1 T_1 (1 + q_1) + z_2 T_2 (1 + q_2) \leq c_2 P_2 + z_3 T_3 \cdot (1 + q_2) + \frac{C_m}{n},$$

где c_1 — стоимость 1 кг листового материала, руб; P_1 — масса материала для сварной конструкции, кг; z_1 — стоимость часа работы сварщика, руб.; T_1 — время, затрачиваемое на сварку, ч; q_1 — коэффициент накладных расходов цеха, где производится сварка; z_2 — часовая зарплата рабочего механического цеха, руб.; T_2 — время механической обработки сварных деталей, ч; q_2 — коэффициент накладных расходов механического цеха; c_2 — стоимость 1 кг чугунного литья, руб.; P_2 — масса чугунной детали; T_3 — время механической обработки литой детали, ч; C_m — стоимость моделей, руб.; n — количество отливок, изготавливаемых по данной модели.

Сварные станины изготавливают из листовой стали толщиной 10—15 мм марки Ст3 или Ст5. Металлоемкость таких станин на 30—40 % меньше металлоемкости чугунных. Кроме того, в этом случае не надо изготавливать дорогие модели и стержневые ящики. Однако сварка таких станин достаточно трудоемка и большого выигрыша в общей трудоемкости не дает.

Припуски на обработку. Величину припусков для чугунных заготовок назначают в зависимости от положения поверхности при заливке металла в форму.

На нижние и боковые поверхности припуски назначают меньше, на верхние и внутренние поверхности — больше. Это объясняется

Таблица 8. Припуски на механическую обработку фасонных отливок второго класса из серого чугуна

Наибольший размер отливки	Положение поверхности отливки при заливке	Припуск для номинального размера			
		Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000	Св. 2000 до 3150
Св. 500	Верх	7,5	—	—	—
До 800	Низ, бок	5,5	—	—	—
Св. 800	Верх	8,0	8,5	—	—
До 1250	Низ, бок	5,5	6,5	—	—
Св. 1250	Верх	9,0	9,0	10,0	—
До 2000	Низ, бок	6,5	6,5	7,5	—
Св. 2000	Верх	9,0	10,0	11,0	12,0
До 3150	Низ, бок	6,5	7,0	8,0	9,0

тем, что в верхней части отливки получают усадочные рыхлоты и нужно снимать большой слой металла при обработке, чтобы получить обрабатываемую поверхность необходимого качества. Внутренние полости и отверстия образуются при помощи стержней, которые довольно часто смещаются при формовке и заливке. Чтобы при обработке не осталось черновых необработанных поверхностей, припуск в этом случае также увеличивается. Средние величины припусков на обработку корпусных деталей приведены в табл. 8.

Припуски на стальное литье назначают примерно в таких же пределах: на литье в кокиль 1,0—3,5 мм на сторону; на литье в оболочковые формы — 0,3—0,8 мм на сторону.

Станки располагаются по обе стороны или по одну сторону рольганга. С рольганга заготовки снимаются и ставятся на него с помощью местных подъемников (тельферов и пр.). Транспортировка тяжелых заготовок на рольганге облегчает труд станочников, сокращает время на установку заготовок и повышает производительность труда.

В автоматических линиях при передаче детали от одного станка до другого применяют шаговые транспортеры различных типов, для возврата спутников — цепные транспортеры.

Обработка корпусных деталей в серийном производстве имеет некоторые специфические особенности. В качестве примера рассмотрим обработку станин металлорежущих станков как одних из наиболее сложных деталей этого типа.

Продолжительность сохранения точности станков зависит от стабильности размеров станины, которые изменяются с течением времени. Поэтому очень важно после обработки получить станины с выровненными внутренними напряжениями, релаксация которых не привела бы в последующем к их деформациям.

Главные технические требования к станинам — это достижение прямолинейности и параллельности направляющих в пределах 0,02 мм на 1000 мм длины и отсутствия изогнутости (спиральности) направляющих в пределах 0,05 мм на 1000 мм длины. Шероховатость поверхностей скольжения после отделочной обработки должна быть в пределах R_a 1,25—0,5 мкм.

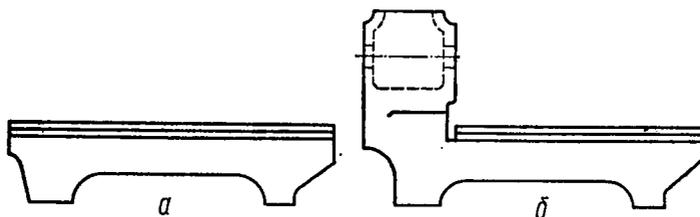


Рис. 26. Станины металлорежущих станков.

Материал. Большинство станин отливается из чугуна марки СЧ21-40; твердость обработанных поверхностей $HV 180 \div 220$.

После отливки станина находится в сложноподвижном состоянии вследствие неравномерного охлаждения отдельных ее частей, вызванного, главным образом, неравномерными сечениями различных частей отливки. Поэтому, конструируя станину и осуществляя технологический контроль конструкции, необходимо стремиться получить наиболее простую конфигурацию отливки с равномерным сечением стенок.

Уменьшению внутренних напряжений в отливке способствует легирование чугуна небольшими количествами хрома и никеля (0,2 % Cr и 0,4 Ni) и присадка в шихту 30—35 % стального лома.

До механической обработки в литейном цехе после обрубки и очистки станины следует загрузить краской, чтобы остатки формовочных материалов на отливке не загрязняли станков в механическом цехе.

Средняя величина припусков на обработку литых станин длиной 2—2,5 м при формовке по металлическим моделям для поверхностей: нижних — 6—9 мм, боковых — 6—10 мм, верхних и внутренних — 8—12 мм.

При формовке по деревянным моделям величина припусков увеличивается на 50 %. За технологические базы принимают обычно ножки, основания, направляющие. В процессе обработки происходит смена баз. За чистовые базы принимают точно обработанные поверхности, удобные для установки детали на станке или в приспособлении.

Станины станков весьма разнообразны по конструкции, но технологические процессы обработки их имеют много общего.

Последовательность обработки и применяемое оборудование рассмотрим для чугунных станин, подобных указанным на рис. 26. Технологическая последовательность обработки, применяемая в серийном производстве, следующая:

1. Обрабатывают начерно и начисто основание станины, которое в дальнейшем служит технологической базой. Заготовку для обработки устанавливают в приспособлении, показанном на рис. 27, а. Разметка заготовки и установка ее по разметке на столе станка применяется только при единичном и мелкосерийном производстве и здесь не рассматривается. Для черновой обработки основания применяют продольно-строгальные, продольно-фрезерные и обдирочно-шлифовальные станки. Последние при большом припуске на обработку (свыше 2 мм) применять неэкономично.

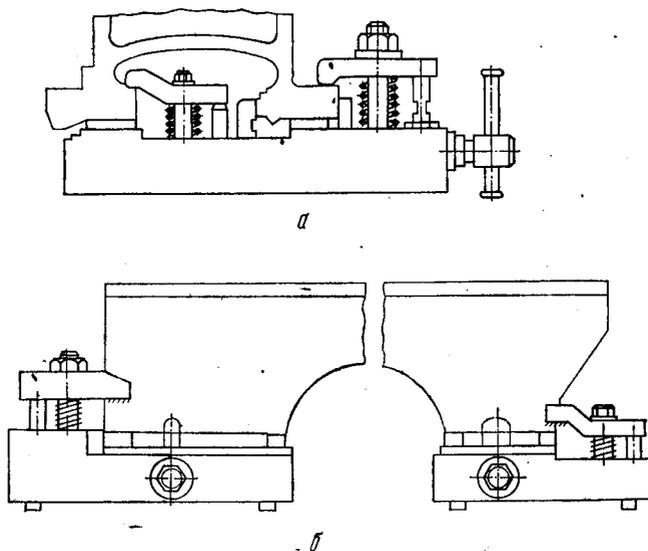


Рис. 27. Приспособления при установке станков:
а — при обработке основания; *б* — при обработке направляющих.

2. Обрабатывают направляющие начерно резцами на продольно-строгальных станках, торцовыми фрезами и наборами фрез — на продольно-фрезерных станках. Припуск на чистовую обработку 2,5—3 мм. Заготовка устанавливается в приспособление на обработанное основание (рис. 27, *б*). Для зажима прихватами в приспособлении при конструировании в станине должны быть предусмотрены соответствующие выступы или углубления.

3. Обрабатывают начерно поверхности, расположенные перпендикулярно направляющим, на продольно-фрезерных станках, если станина по длине проходит между колоннами станка; на горизонтально-расточных станках фрезой или на торцефрезерных станках (рис. 28), если станина длинная.

4. Обрабатывают отверстия начерно на горизонтально-расточных станках в приспособлении. Припуск на чистовую обработку 2—2,5 мм на сторону.

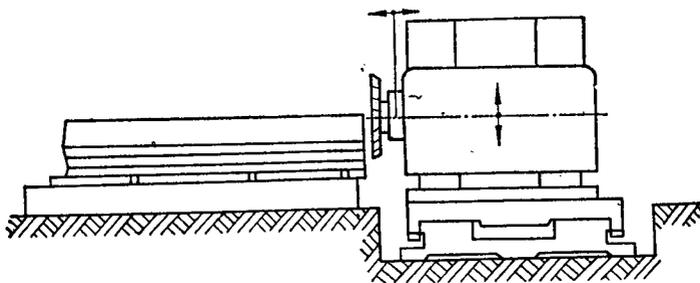


Рис. 28. Фрезерование станин на торцефрезерном станке.

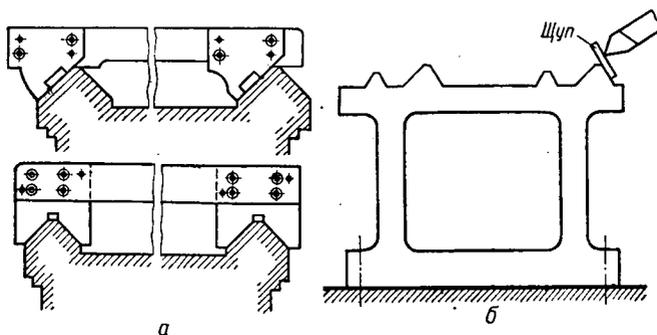


Рис. 29. Стругание направляющих:
а — по шаблонам; б — по габариту.

5. После черновой обработки производится старение заготовок. Старение используется для выравнивания внутренних напряжений в металле (чтобы избежать коробления деталей при эксплуатации). Как показали исследования ЭНИМСа, основной причиной коробления является концентрация напряжений у концов графитовых включений, вызывающая пластическую деформацию металлической основы чугуна.

При старении происходит не только пластическая деформация, но и местное упрочнение металлической основы чугуна, повышающее ее релаксационную стойкость. Коробление прекращается, когда релаксационная стойкость в зонах концентрации напряжений становится такой, что оставшиеся там напряжения уже не могут вызвать пластическое деформирование металла.

Применяют естественное и искусственное старение. При естественном старении обработанную начерно заготовку вывозят на открытый двор, где она вылеживается до 6 и более месяцев. При искусственном старении применяют нагрев (в специальных печах), вибрации и статическое нагружение.

Заготовку из чугуна СЧ21-40 нагревают до температуры 550 ± 15 °С со скоростью 100—150 град/ч, выдерживают при этой температуре 3—4 ч и охлаждают до 350 °С со скоростью, меньшей 30 град/ч, и до комнатной температуры со скоростью около 50 град/ч. В последнее время применяют метод старения с помощью так называемых «термударов» (быстрого нагрева). При нагреве в печах необходимо устраивать большие сооружения, поэтому для крупных деталей (длинной свыше 1,5—2,0 м) он не применим. Вибрация деталей на специальных вибрационных стендах или статическое нагружение широкого распространения пока не получили.

6. Выполняют чистовую обработку основания, если это требуется по технологическим соображениям или когда станина при сборке ставится на другую сопрягаемую деталь. Если деталь основанием ставится на фундамент, то в чистовой обработке нет необходимости. Чистовую обработку лучше выполнять на продольно-фрезерных станках.

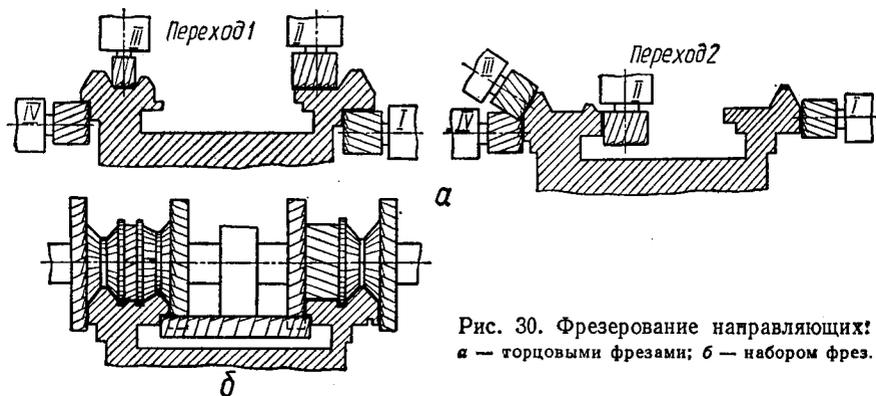


Рис. 30. Фрезерование направляющих:
 а — торцовыми фрезами; б — набором фрез.

7. Обрабатывают начисто направляющие и другие параллельные поверхности, которые можно обработать при этой же установке на строгальных или продольно-фрезерных станках. Стругание производится по габаритам или по шаблонам (рис. 29); фрезерование — торцовыми фрезами и наборами фрез (рис. 30). Припуски под отделочную обработку — 0,2—0,3 мм.

8. Обрабатывают поверхности в плоскостях, перпендикулярных направляющим, фрезами на горизонтально-расточных, строгальных одноколонных и продольно-фрезерных станках.

9. Сверлят крепежные и смазочные отверстия по накладным кондукторам или в поворотных кондукторах на радиально-сверлильных станках. Поскольку эта операция связана со снятием металла и изготовлением отверстий, то в станине снова происходит перераспределение внутренних напряжений. Поэтому эту операцию необходимо выполнять до отделочной обработки. В качестве технологической базы выбирают такую обработанную поверхность, при установке на которую можно было бы получить наиболее простую конструкцию приспособления. Это одна из трудоемких операций. При обработке некоторых станин на радиально-сверлильном станке в поворотном приспособлении применяется до 150—200 наименований различных режущих, мерительных и вспомогательных инструментов (патрон для быстрой смены инструментов, переходные втулки, удлинители, сверла, зенковки, зенкеры, подрезные пластины, развертки, метчики, гладкие и резьбовые калибры, скобы, шаблоны, глубиномеры и пр.).

10. Обрабатывают большие отверстия под опоры валов диаметром свыше 30—40 мм начисто и отделяют на горизонтально-расточных, специализированных и агрегатных станках.

11. При отделке направляющих требуется получить прямолинейность плоских поверхностей в заданных пределах, правильность углового расположения этих поверхностей, параллельность их между собой и необходимую шероховатость. Существует шесть способов отделки: шабрение, шлифование, отделочное строгание, отделочное фрезерование, притирание, вибронакатывание.

Старейший способ отделки — шабрение. Однако этот процесс весь-

ма трудоемок. Например, на шабрение направляющих токарного станка длиной до 1,5 м требуется не меньше 8—9 ч. Этот способ отделки применяют, если из-за конструкции станины нельзя применить другие, более производительные методы обработки или тогда, когда нужна особо точная поверхность скольжения, например в станинах прецизионных станков. Для повышения производительности труда шабрение разделяют на черновое и чистовое. Черновое шабрение выполняют шабером с острым углом резания (рис. 31, а), чистовое — с тупым углом резания (рис. 31, б). Припуски под шабрение дают от 0,15 до 0,25 мм (большие цифры для больших поверхностей). Точность шабрения определяют по числу пятен краски на квадрате 25 × 25 мм, остающихся на шабренной поверхности после натирания ее контрольной плитой или линейкой, смазанными краской (берлинской лазурью). Нормальная точность шабрения на поверхностях скольжения 10—12 пятен, повышенная 12—18 пятен. Особо точные поверхности шабрят «на блеск» (натирают контрольной плитой или линейкой без краски) до 20—25 пятен на квадрате 25 × 25 мм.

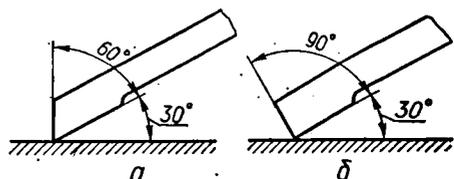


Рис. 31. Шаберы для шабрения:
а — чернового; б — чистового.

Наиболее производительный и чаще всего применяемый способ отделки направляющих — это шлифование. Существует шлифование станин торцом (рис. 32, а) и периферией круга (рис. 32, б). При шлифовании торцом благодаря наличию у соответствующих станков поворотной головки, позволяющей устанавливать круг под любым углом к горизонту, можно шлифовать горизонтальные, вертикальные и наклонные поверхности. Но вследствие малых размеров (диаметр 100 мм) и малой прочности круга шлифование ведется всухую, с малыми глубинами резания (до 0,3 мм) и небольшими скоростями движения стола (10—12 м/мин). При шлифовании периферией круга применяют прочные шлифовальные дисковые круги диаметром 300—400 мм, шириной 80—100 мм с обильным охлаждением. Глубина резания и скорость движения стола увеличиваются в три раза, соответственно увеличивается и производительность труда. Однако так нельзя шлифо-

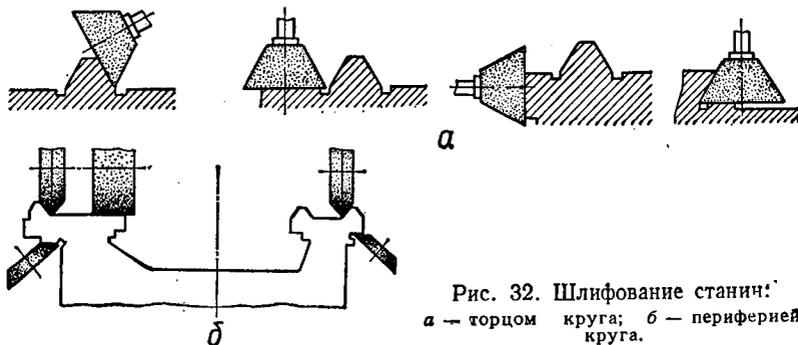


Рис. 32. Шлифование станин:
а — торцом круга; б — периферией круга.

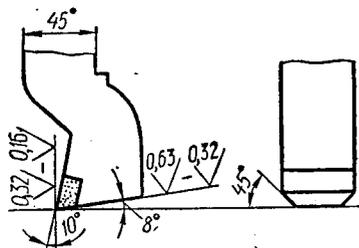


Рис. 33. Широкий резец для отделочного строгания.

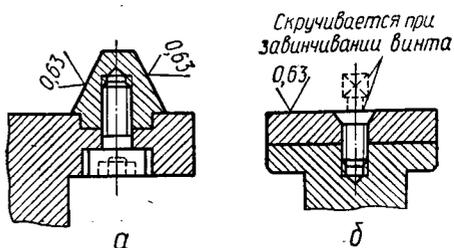


Рис. 34. Стальные накладные направляющие станков:

a — призматические; *б* — плоские.

вать поверхности, имеющие форму «ласточкина хвоста», вертикальные поверхности и др.

Вполне удовлетворительные результаты при обработке длинных тяжелых станин дает отделочное строгание широкими притертыми резцами (рис. 33). Припуск до 1 мм снимают за три прохода, последний проход делают при глубине резания 0,1—0,2 мм. Скорость резания для быстрорежущих резцов — не более 18—20 м/мин, подача на двойной ход стола 15—30 мм. При этом получается шероховатость поверхности в пределах 1,25—0,63 мкм.

Отделочное фрезерование однозубой фрезой применяется в режимах, аналогичных применяемым при тонком точении. Скорость резания — примерно 70 м/мин; глубина резания — примерно 2 мм; минутная подача — 75 мм/мин. Шероховатость поверхности получается в пределах 1,25—0,32 мкм. Этот вид фрезерования пока широко не распространен.

Для направляющих станин прецизионных станков в ряде случаев применяют притирку после шлифования. Однако наиболее точные поверхности можно получить только шабрением «на блеск» (при натирании обрабатываемой поверхности контрольной плитой без краски).

При стальных накладных закаленных направляющих (рис. 34) после обработки стыков и соединения направляющих с корпусом их шлифуют и иногда притирают. В некоторых случаях, в частности при ремонте станков, изготавливают текстолитовые направляющие. После обработки стыков и приклеивания текстолита к станине клеем марки БФ-2 текстолит фрезеруют начисто и шабрят по поверхностям скольжения.

12. К опорам под шпиндель в станинах (рис. 26, б) предъявляют высокие требования: непараллельность оси направляющим должна быть равна 0,02 мм на длине 300 мм, цилиндричность отверстия — в пределах 0,005 мм, соосность отверстий — в пределах 0,005 мм, шероховатость поверхности — не ниже 1,25—0,32 мкм. Обработку ведут с помощью расточного приспособления, перемещающегося по обработанным поверхностям направляющих. Припуск на обработку 0,3—0,4 мм. Обработка твердосплавным или алмазным инструментом ведется при скоростях 150—200 м/мин и подачах 0,01—0,02 мм на один оборот борштанги.

Таблица 9. Типовой маршрут обработки станин станков

Номер операции	Операция	Применяемое оборудование	Технологические базы
1	Черновая обработка основания	Продольно-фрезерный станок	Необработанные направляющие станины
2	Черновая обработка направляющих	Продольно-строгальный или продольно-фрезерный станок	Основание
3	Черновая обработка поверхностей, расположенных в плоскостях, перпендикулярных направляющим	Продольно-строгальный одноколонный, горизонтально-расточный, торцо-фрезерный станок	Обработанные направляющие
4 *	Черновая обработка отверстий под опоры шпинделя, полученных при литье; сверление крупных отверстий под валы (если требуется по чертежу) с припуском на чистовую обработку	Расточный станок	Основание
5	Старение		
6	Чистовая обработка основания (если требуется по чертежу)	Продольно-строгальный или продольно-фрезерный станок	Направляющие
7	Чистовая обработка направляющих и других поверхностей, обработка которых возможна при той же установке	Продольно-строгальный станок	Основание
8	Чистовая обработка поверхностей в плоскостях, перпендикулярных направляющим	Горизонтально-расточный или продольно-фрезерный станок	Направляющие
9	Обработка крепежных и смазочных отверстий	Радиально-сверлильный станок	Основание или направляющие
10	Чистовая и отделочная обработка отверстий	Горизонтально-расточный или агрегатный станок	Основание
11	Отделка направляющих	Станок для шлифования направляющих	Направляющие
12 *	Отделка отверстий под опоры шпинделя	Специальное приспособление	»

Таблица 10. Время обработки станины

Операция	Исходные величины	Время обработки
Строгание		
Длина станины	$l = 1500$ мм	$t_{M_1} = 0,0000468BL$ $t_{K_1} = 0,0000468 \cdot 300 \times$ $\times 9000 \cdot 1,73^*) = 218,5$ мин
Количество строгаемых поверхностей	$a = 6$	
Ширина строгания средняя	$b = 50$ мм	
Ширина строгания общая	$B = ab = 300$ мм	
Длина строгания общая	$L = al = 9000$ мм	
Шлифование плоское		
Черновое и чистовое	$L = 9000$ мм	$t_{M_2} = 0,0028L;$ $t_{K_2} = 0,0028 \cdot 9000 \cdot 2 =$ $= 50,4$ мин
Общая длина шлифования		
Растачивание отверстий		
Черновое и чистовое	$n_1 = 10$ $d_1 = 42$ мм $l_1 = 50$ мм	$t_{M_3} = 0,000318 \bar{d}_1 \bar{l}_1 n_1$ $t_{K_3} = 0,000318 \cdot 42 \cdot 50 \cdot 10 \times$ $\times 3,25 = 22,00$ мин
Количество растачиваемых отверстий диаметром от 40 до 60 мм		
Средний диаметр отверстий		
Средняя длина		
Сверление, зенкерование и развертывание отверстий		
Количество отверстий диаметром от 20 до 35 мм	$n_2 = 8$ $\bar{d}_2 = 26$ мм $\bar{l}_2 = 20$ мм	$t_{M_4} = 0,0021 \bar{d}_2 \bar{l}_2 n_2$ $t_{K_4} = 0,00211 \cdot 26 \cdot 20 \cdot 8 \times$ $\times 1,75 = 15,3$ мин
Средний диаметр отверстия		
Средняя длина		
Сверление отверстий		
Количество гладких сверленных отверстий диаметром от 6 до 20 мм	$n_3 = 100$ $\bar{d}_3 = 16$ мм $\bar{l}_3 = 30$ мм	$t_{M_5} = 0,00056 \bar{d}_3 \bar{l}_3 n_3$ $t_{K_5} = 0,00056 \cdot 16 \cdot 30 \times$ $\times 100 \cdot 1,75 = 26,9$ мин
Средний диаметр		
Средняя длина		
Нарезание резьбы в отверстиях метчиком на станке		
Количество отверстий диаметром от М8 до М16	$n_4 = 60$ $\bar{d}_4 = M12$ $\bar{l}_4 = 18$ мм	$t_{M_6} = 0,00032 \bar{d}_4 \bar{l}_4 n_4$ $t_{K_6} = 0,00032 \cdot 12 \cdot 18 \cdot 60 \times$ $\times 1,75 = 4,14$ мин
Средний диаметр		
Средняя длина		

Примечание. Величину калькуляционного времени определяют по формуле $t_{K_i} = t_{M_i} \Psi_{K_i}$, величину Ψ_{K_i} берут из приложения 3.

Типовой маршрут обработки чугунных станин средних размеров приведен в табл. 9. При разработке конкретного технологического процесса для каждой операции выбирают оборудование, приспособление, режущий и мерительный инструмент и режимы резания по общим правилам в соответствии с чертежом обрабатываемой детали.

Оценка трудоемкости, станкоемкости и себестоимости изготовления станин. Положим, что есть чертеж станины, из которого можно получить все необходимые данные (табл. 10). Изготовление серийное. Соответствующие формулы для оценки машинного времени обработки взяты из приложения 2. Расчет времени обработки станины приведен в табл. 10. Суммируя все величины t_{ki} , находим общее калькуляционное время обработки станины по формуле

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=6} t_{ki} \approx 337 \text{ мин} \approx 5,7 \text{ ч.}$$

Поскольку производство серийное и отдельные переходы и операции выполняются последовательно единичными инструментами, то станкоемкость процесса равна трудоемкости, т. е. 5,7 ч.

Себестоимость станины подсчитывают по формуле (21), руб:

$$C = \frac{cP_1}{\eta} + zT_{\Sigma}(1 + q).$$

Подставим в эту формулу численные значения указанных в формуле (21) величин:

Масса станины	$P_1 = 700 \text{ кг};$
Коэффициент использования металла	$\eta = 0,7;$
Стоимость 1 кг чугунного литья	$c = 0,2 \text{ руб.};$
Средняя часовая заработная плата рабочего	$z = 0,6 \text{ руб./ч};$
Цеховые накладные расходы в процентах производственной заработной платы	$H = 160 \%$
Коэффициент накладных расходов	$q = \frac{160}{100} = 1,6;$

Получим цеховую себестоимость станины:

$$C = \frac{0,2 \cdot 700}{0,7} + 0,6 \cdot 5,7(1 + 1,6) \approx 209 \text{ руб.}$$

Особенности обработки станин в крупносерийном производстве. В крупносерийном производстве станины обрабатывают на высокопроизводительных станках. Схема фрезерования направляющих станин на специальном девятишпиндельном продольно-фрезерном станке показана на рис. 35, а, расположение шпинделей на станке — на рис. 35, б.

Обработку отверстий в ножках станины, сверление отверстий в теле станины и нарезание в них резьбы выполняют на специальных многошпиндельных агрегатных станках.

На московском заводе «Красный пролетарий» при обработке станин токарных станков на этих операциях применяют полуавтоматическую линию, состоящую из семи станков, связанных транспортером для перемещения деталей. Применение этой линии дало возможность при обработке отверстий повысить производительность труда в 3 раза.

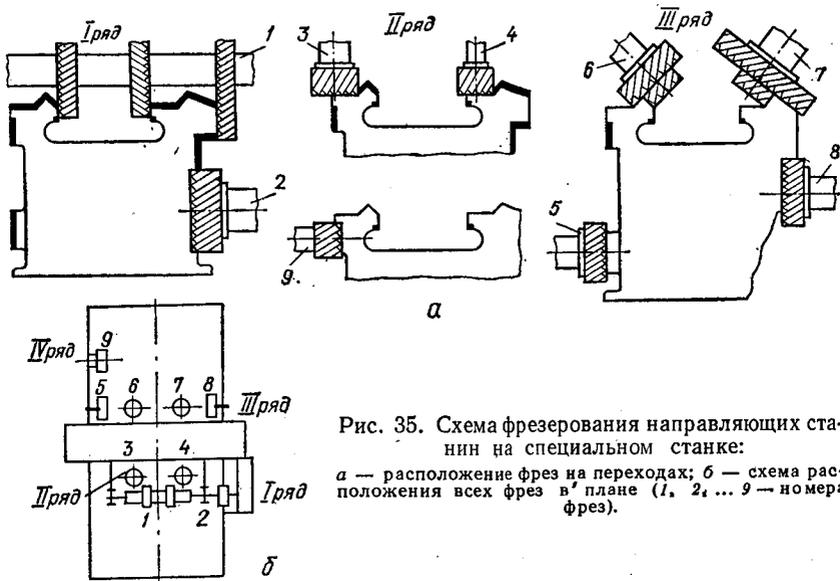


Рис. 35. Схема фрезерования направляющих станин на специальном станке:
 а — расположение фрез на переходах; б — схема расположения всех фрез в' плане (1, 2, ... 9 — номера фрез).

В крупносерийном производстве, когда в литейном цехе применяют формовку по металлическим моделям, а в механическом цехе — фрезерование на многшпиндельных фрезерных станках и частичную обработку отверстий на агрегатных станках, общее время обработки снижается примерно в 2 раза. В условиях крупносерийного производства отдельные величины, входящие в формулу (21), изменяются следующим образом (для станин с размерами, данными в табл. 11).

Применение прогрессивной формовки уменьшает массу отливки и чистый вес детали до $P_1 = 680$ кг. Уменьшение припусков на обработку повышает коэффициент использования металла до $\eta = 0,75$. Выпуск крупных серий литья снижает стоимость 1 кг чугуна до $c = 0,17$ руб. Благодаря применению высокопроизводительных настроенных, легкоуправляемых станков среднюю заработную плату можно принять $\bar{z} = 0,5$ руб./ч, так как на этих станках могут работать рабочие с невысокой квалификацией. Применение новых дорогих станков и оснастки, а также увеличение количества обслуживающих рабочих (наладчиков) ведет к росту расходов на амортизацию и обслуживание оборудования, вследствие чего возрастает коэффициент накладных расходов до $q = 2,7$. Трудоемкость снижается до $T_k = 2,5$ ч из-за увеличения степени концентрации операций.

Следовательно, себестоимость станины в этом случае составит

$$C = \frac{0,17 \cdot 680}{0,75} + 0,50 \cdot 2,5(1 + 2,7) \approx 159 \text{ руб.}$$

Обработка заготовок корпусных деталей на станках с программным управлением. В серийном производстве применяют обрабатывающие центры с программным управлением и автоматической сменой инструментов. На таких станках обрабатывают корпусные и коробчатые за-

готовки со средними габаритными размерами примерно $600 \times 400 \times 300$ мм. Но есть станки для обработки заготовок со значительно большими габаритными размерами (табл. 6).

Заготовку можно обрабатывать с нескольких сторон, применяя поворотное приспособление (или стол). Эти станки дорогие. Применение их рентабельно там, где требуется для последовательной обработки с одной установки более шести — восьми инструментов и повторная обработка средних партий деталей (50—150 шт.). При обработке достигается значительная экономия вспомогательного времени, сокращается время на наладку инструментов, упрощается транспортирование заготовок, устраняются затраты на проектирование и изготовление приспособлений для некоторых операций. Кроме того, уменьшается потребность в производственной площади, так как один обрабатывающий центр заменяет несколько универсальных станков. Общая экономия времени по сравнению со временем обработки на универсальных станках достигает 40—200 %.

Ход расчета технологического процесса и программы обработки примерно такой же, как на рис. 19. Объем технологической подготовки зависит от типа станка, его технологических возможностей, системы программного управления и наличия технических средств для расчета и осуществления программы (перфораторов, интерполятора, считывающего устройства и устройств для воспроизведения программы, связанных со станком). В общем случае при программировании процесса обработки соблюдается следующая последовательность действий:

1) на основе рабочего чертежа детали и чертежа заготовки разрабатывают специальный чертеж для расчета программы, намечают технологический маршрут и инструменты;

2) на чертеже намечают опорные точки начала и конца переходов (пути движения инструментов) (рис. 36) и вычисляют координаты этих точек;

3) для выбранных по каталогу инструментов вычисляют режимы резания, подбирают закодированную вспомогательную оснастку (фрезерные оправки, сверлильные патроны, переходные втулки) и средства закрепления заготовок на столе станка или в приспособлении;

4) составляют технологическую карту, расстояния между опорными точками переводят в количество импульсов шагового двигателя, передающего движение соответствующим частям станка;

5) при разработке технологического процесса составляют технические условия на режущий инструмент и оснастку;

6) составляют расчетную карту, внося в нее все необходимые для обработки данные в кодированном виде;

7) кодированная информация наносится на программноноситель (обычно перфолента). Если применяется управление от магнитной ленты, то информация с перфоленты интерполятором переносится на магнитную ленту. Схема обработки небольшой корпусной детали на обрабатывающем центре показана на рис. 36. Заготовка — отливка из серого чугуна. Плоские обрабатываемые поверхности заштрихованы в клетку. Фрезерование поверхностей (точки 4—5) торцевой фрезой

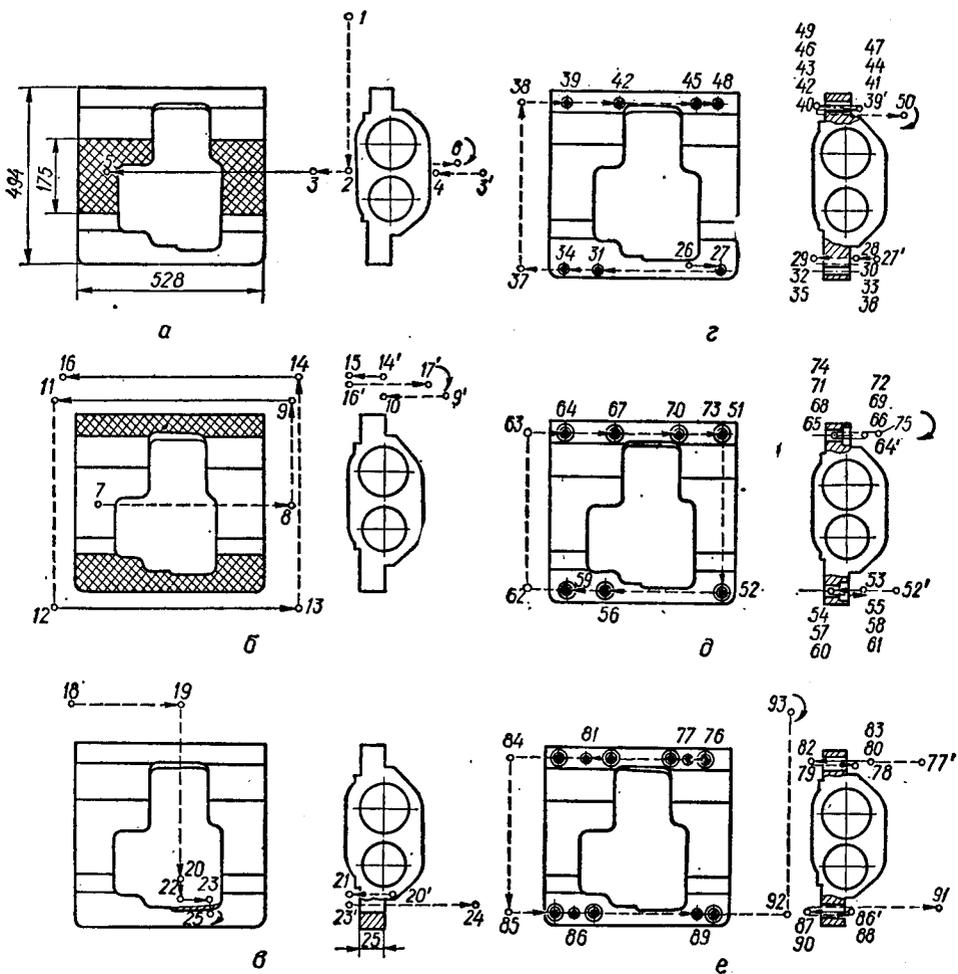


Рис. 36. Схема обработки детали на обрабатывающем центре с программным управлением.

диаметром 200 мм показано на рис. 36, а (скорость резания $v = 88$ м/мин, подача $s_m = 280$ мм/мин), фрезерование поверхностей (точки 10—11, 12—13, 15—16) концевой фрезой диаметром 75 мм — на рис. 36, б (скорость $v = 53$ м/мин, подача $s = 250$ мм/мин), фрезерование выемки (точки 21—22—23) концевой фрезой диаметром 20 мм (скорость $v = 17$ м/мин, подача $s = 250$ мм/мин) — на рис. 36, в, сверление семи отверстий диаметром 10,5 мм (скорость $v = 9$ м/мин, подача $s = 0,44$ мм/об, $s_m = 125$ мм/мин) — на рис. 36, г, зенкование семи отверстий диаметром 17 мм (скорость $v = 12$ м/мин, подача $s = 0,22$ мм/об, $s_m = 50$ мм/мин) — на рис. 36, д, сверление четырех отверстий диаметром 10 мм (скорость $v = 17,5$ м/мин, подача $s = 0,22$ мм/об, $s_m = 125$ мм/мин) показано на рис. 36, е.

Для правильного использования таких станков важно найти наименьшие длины холостых ходов и оптимальные режимы резания для комплекта режущих инструментов. Первую задачу при двух- или трех-размерных прямоугольных циклах движения стола решают графически. По вычерченному путем движений детали при анализе находят наименьшие возможные пути. В более сложных случаях, когда инструменты могут обрабатывать детали по контурам с обходом препятствий (ребер), эту задачу решают на основе теории линейного программирования.

Вопросы расчета режимов резания для обработки деталей на обрабатывающих центрах исследованы еще недостаточно, так как такие станки появились сравнительно недавно. Основные соображения, которыми следует руководствоваться при ручном расчете режимов резания, для этих станков следующие:

1) вся партия деталей, заданная для обработки по одной программе, должна быть обработана одним комплектом инструментов без замены их до конца обработки партии. Поэтому режимы резания следует подобрать так, чтобы время стойкости инструментов соответствовало машинному времени, требующемуся для обработки всей партии деталей;

2) надо точно определить величины рабочих ходов l_i каждого из m инструментов ($i = 1; 2; \dots; m$) в соответствии с чертежом детали. На всю партию из q деталей на каждый инструмент приходится длина обработки

$$L_i = ql_i \text{ мм};$$

3) для каждого инструмента по соответствующим нормативам можно определить [12] скорость резания v_i , подачу s_i и время стойкости T_i ;

4) на основе этих данных вычисляют машинное время обработки партии для каждого инструмента по формуле

$$t_i = \frac{L_i}{n_i s_i} = \frac{ql_i}{n_i s_i};$$

5) машинное время t_i сравнивают с временем нормативной стойкости данного инструмента T_i . Из сравнения этих величин выявятся инструменты, наиболее нагруженные во времени обработки;

6) если время обработки партии деталей для данного инструмента

$$t_i < T_i,$$

то можно работать с нормативными режимами резания. Если

$$t_i > T_i,$$

то для данного инструмента следует понизить режимы резания в соответствии с законом $T-v$.

После расчета надо скорректировать режимы резания для всех инструментов по принципу «равнотойкости» с наиболее нагруженным инструментом. После выравнивания режимов резания относительно нормативных данных следует подобрать величины скоростей резания (число оборотов) и подач, имеющиеся на станке, чтобы ввести их в программу обработки.

В табл. 11 приведены результаты расчета машинного времени, затрачиваемого на обработку партии деталей (рис. 36). В таблице ука-

Таблица 11. Результаты расчета режимов резания

Инструмент	Рабочий ход на одну деталь, мм	По нормативам					Принятые режимы по станку				
		v , м/мин	s , мм/мин	Машинное время t_{M_1} , мин	Машинное время на партию * q_{M_1} , мин	Стойкость T_{L_1} , мин	v , м/мин	s , мм/мин	Машинное время t_{M_1} , мин	Машинное время на партию * q_{M_1} , мин	Стойкость расчетная, T_{p_1} , мин
Фреза торцовая диаметром 200 мм	630	203	410	1,56	78	180	88	280	2,25	112,5	> 2000
Фреза концевая диаметром 75 мм	566×3	59	188	9,0	450	120	53	250	6,80	340	168
Фреза концевая диаметром 20 мм	120	22	108	1,11	55,5	60	17	80	1,50	75	150
Сверло спиральное диаметром 10,5 мм	28×7	25	227	0,86	43,5	35	9	125	1,56	78	1500
Зенкер облицовочный диаметром 17 мм	10×7	20	148	0,47	23,5	30	12	50	1,4	70	231
Сверло спиральное диаметром 10 мм	27,5×4	22	210	0,52	26,0	35	17,5	125	0,88	44	81
Итого		13,52							14,39		

* В партию входит $q = 50$ деталей.

заны машинное время и стойкость инструментов до и после выравнивания режимов резания.

Как видно из таблицы, наиболее нагруженными инструментами являются в данном случае фреза концевая диаметром 75 мм и сверло спиральное диаметром 10,6 мм. Суммарное машинное время для остальных инструментов не больше времени стойкости их по нормативам. Поэтому с учетом паспортных данных станка скорость резания для фрезы диаметром 75 мм была несколько снижена, а минутная подача увеличена за счет увеличения подачи на зуб фрезы и увеличения количества зубьев. Вследствие этого увеличилось время стойкости фрезы (одна смена инструмента на партию вместо трех) и снизилось машинное время. Одновременно снизились режимы резания всех инструментов и повысилась надежность работы и запас стойкости.

Следовательно, потеря времени при обработке составила 0,87 мин на одну деталь ($14,39 - 13,52 = 0,87$), но зато значительно уменьшилась вероятность выхода из строя всех режущих инструментов при обработке всей партии, на замену которых могло бы потребоваться гораздо больше времени, чем 0,87 мин.

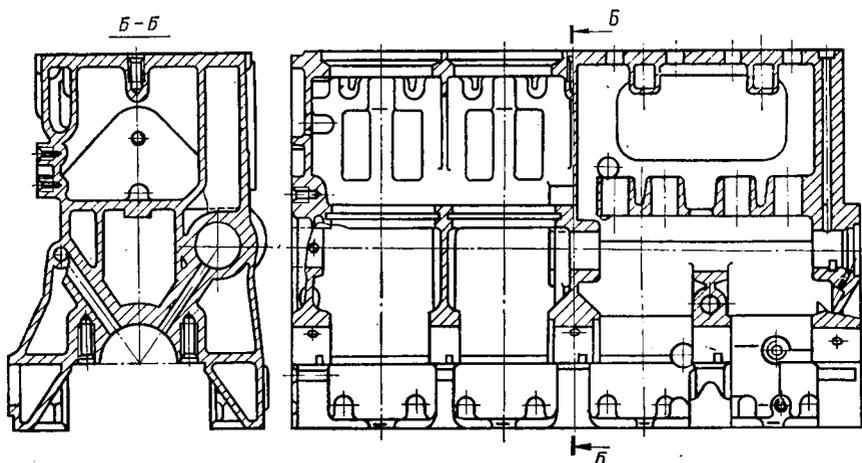


Рис. 37. Блок цилиндров тракторного двигателя.

При наличии ЭВМ и разработке специальных программ можно автоматически разработать технологический процесс. При этом автоматически по данным рабочего чертежа производится привязка инструментов к отверстиям разных форм и к координатам их положения, выбор подач, скоростей вращения и циклов перемещений инструментов, определение управляющих и вспомогательных команд, выдача перфоленты с управляющей программой и выдача спецификации инструментов.

Обработка корпусных деталей в массовом производстве. Примером обработки корпусных деталей в массовом производстве может служить обработка блоков цилиндров автотракторных двигателей, представляющих собой сложные корпусные детали. Конструкция тракторного блока (со вставными гильзами) показана на рис. 37. Блоки различают по расположению клапанных гнезд, направляющих клапанов и типам гнезд под подшипники. Эти различия вызывают соответствующие различия в технологии. Наиболее важные технические условия на изготовление блоков приведены в табл. 12.

Блоки цилиндров изготовляют из чугуна СЧ21-40 и СЧ24-44 с твердостью $HV\ 165 \div 240$. Все блоки перед механической обработкой должны подвергаться старению для снятия внутренних напряжений. Перед подачей в механический цех блоки следует загрузнтовать краской.

Технологические базы. У блока цилиндров есть верхняя плоская часть под крышку цилиндров и нижняя часть с несколькими поверхностями, лежащими в разных плоскостях, к которым присоединяют поддон. В блоке цилиндры или гнезда под вставные гильзы надо расточить так, чтобы их оси были строго перпендикулярны к нижней плоскости и к оси коленчатого вала. Оси этого и распределительного валов должны быть параллельны установочной нижней плоскости. Кроме того, в блоке надо обработать отверстия и гнезда под клапаны и отверстия под толкатели клапанов, оси которых перпендикулярны к оси распределительного вала.

Таблица 12. Технические условия на изготовление блоков цилиндров автотракторных двигателей

Условия	Допустимые отклонения для блоков	
	автомобильных	тракторных
Точность размеров диаметров цилиндров	7-й квалитет	—
Конусность и овальность по длине цилиндра	0,025—0,015 мм	—
Точность диаметра отверстий под коренные подшипники	6-й квалитет (при тонкостенных вкладышах)	0,03 мм
Точность диаметра отверстий под кулачковый вал	7-й квалитет	0,02 мм
Неперпендикулярность осей цилиндров к оси коленчатого вала	0,03—0,07 мм на длине цилиндра	0,1 мм на длине 300 мм
Непараллельность осей отверстий под коленчатый и кулачковые валы	0,08—0,15 мм	0,1 мм
Неплоскостность верхней и нижней плоскостей блока	0,02—0,04 мм на длине 100 мм	0,05 мм на длине 600 мм
Точность отверстий под вставные гильзы		0,05 мм

Поскольку наиболее удобны для установки в приспособления плоские поверхности, то в качестве технологических баз принимают нижнюю и верхнюю поверхности блока. Чтобы точно расположить отверстия между собой и относительно торцовых поверхностей, блоки в приспособлениях необходимо устанавливать в строго определенном положении. Для этого на блоках делают специальные опорные площадки (дополнительные базы). Чтобы получить правильное расположение плоских поверхностей относительно осей цилиндров, на первых (черновых) операциях в качестве черновой базы используются также полученные при литье отверстия. При чистовой обработке используют два технологических отверстия на нижней поверхности блока.

Припуски на обработку. Минимальные припуски на обработку рассчитывают по методике проф. В. М. Кована. Практические величины припусков на основных поверхностях блока устанавливаются в пределах:

Операция	Припуск для последующей обработки, мм
Формовка по металлическим моделям	5—7
Черновое фрезерование	2—3
Растачивание цилиндров:	
черновое	1,5—2
чистовое	0,3—0,4
тонкое	0,06
Хонингование черновое под чистовое	0,015—0,2

Технологические процессы обработки блоков двигателей состоят из 60—80 операций. Поэтому в дальнейшем рассматриваются только наиболее важные операции и их комплексы. Технологический маршрут можно наметить на основе следующих соображений.

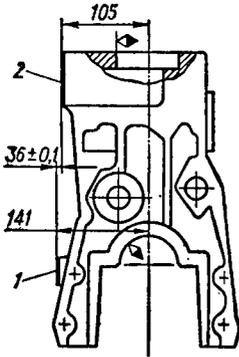


Рис. 38. К обработке дополнительных баз блока цилиндров на вертикально-фрезерном станке.

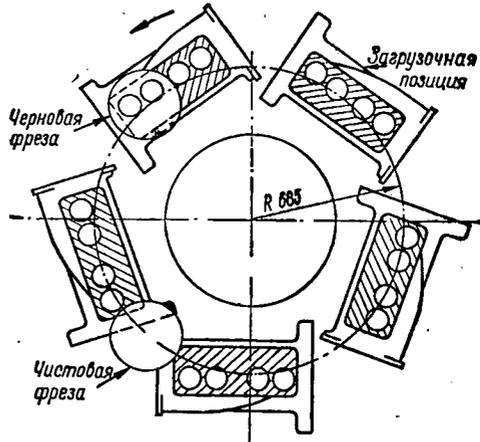


Рис. 39. К обработке блоков цилиндров на карусельно-фрезерном станке.

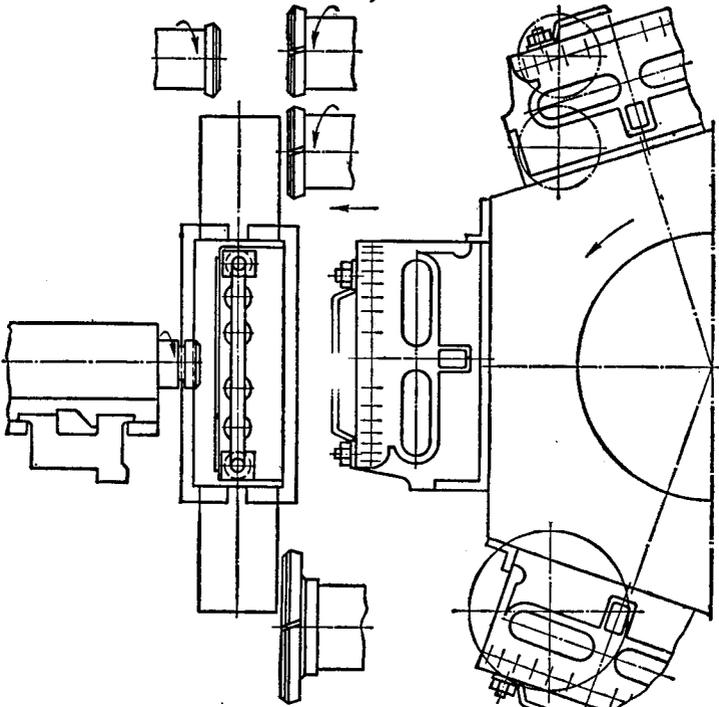


Рис. 40. К обработке боковых поверхностей блоков на барабанно-фрезерном станке.

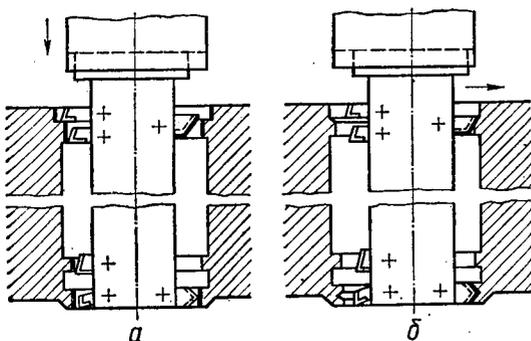


Рис. 41. Гнезда под вставные втулки:
а — растачивание посадочных поясков; *б* — перемещение борштанги параллельно оси вращения, снятие фаски, прорезка канавки.

1. Для правильной установки блоков на последующих операциях (рис. 38) на первой операции необходимо обработать установочные площадки (дополнительные базы) 1.2. Операция выполняется на вертикально-фрезерных станках.

2. Предварительно обрабатывают поверхности стыков блока с поддоном и крышкой блока. Операции можно выполнять на карусельнофрезерных или на продольно-фрезерных станках (рис. 39).

3. Для получения хорошей базы выполняют чистовую обработку нижней плоскости на вертикально-фрезерном или карусельном плоскошлифовальном станке.

4. Для устранения смещения блока в приспособлениях и для правильного ориентирования его относительно приспособления на базисной поверхности блока просверливают два технологических отверстия (дополнительная база).

5. Поверхности, перпендикулярные базисной, фрезеруют на продольно-фрезерном или барабанно-фрезерном станке (рис. 40). Блок устанавливают по нижней поверхности, которая в дальнейшем служит технологической базой почти на всех операциях.

6. Второстепенные поверхности фрезеруют на горизонтальных, вертикальных и специальных фрезерных станках.

7. Обрабатывают начерно места под коренные подшипники на горизонтально-фрезерном или на специальном протяжном станке.

8. Растачивают начерно и начисто цилиндры на специальных многошпиндельных станках.

9. Для сверления, зенкования, развертывания отверстий и нарезания в них резьбы применяют различные специальные и агрегатные многошпиндельные станки.

10. Для тракторных блоков предварительно растачивают гнезда под вставные втулки на двухшпиндельном расточном станке (рис. 41). После растачивания двух посадочных поясков и выемки под бурт гильзы продольная подача прекращается, борштанга перемещается параллельно своей оси вращения, снимается фаска и прорезается канавка для уплотнительного кольца. После обработки двух отверстий блок перемещается на следующую позицию для обработки двух других отверстий.

11. После выполнения всех операций по обработке мелких отверстий выполняют последовательно чистовое и тонкое растачивание цилиндров на специальных многошпиндельных станках. Предварительную и окончательную отделочную обработку производят на вертикальных многошпиндельных хонинговальных станках.

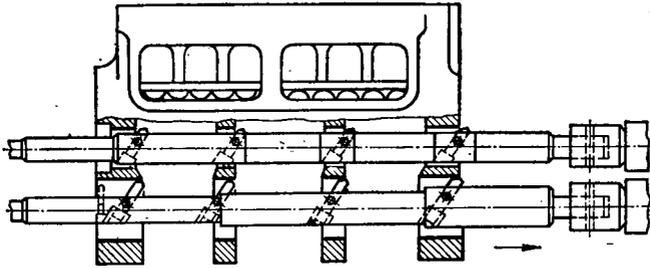


Рис. 42. К растачиванию гнезд под подшипники распределительного и коленчатого валов.

12. Для тракторных блоков окончательно обрабатывают гнезда под вставные втулки (гильзы).

13. Обрабатывают начисто гнезда под коренные подшипники на горизонтально-фрезерном или специальном протяжном станке.

14. Для закрепления крышек подшипников коленчатого вала на корпусе блока сверлят отверстия под шпильки, эти отверстия зенкуют и в них нарезают резьбу на специальных агрегатных станках.

15. Блоки подают на слесарную операцию. Здесь завинчивают шпильки, накладывают крышки подшипников, которые затягивают корончатыми гайками, закрепляемыми на шпильках шплинтами.

16. После установки и закрепления крышек под коренные подшипники одновременно растачивают гнезда под подшипники коленчатого вала и отверстия под подшипники распределительного вала (рис. 42). В качестве окончательной обработки применяется тонкое растачивание. Для автомобильных блоков применяют хонингование поверхностей под вкладыши коренных подшипников.

17. На завершающих операциях развертывают отверстия под втулки клапанов и толкателей, запрессовывают и развертывают направляющие втулки клапанов, запрессовывают седла выпускных клапанов, шлифуют фаски у впускных и выпускных клапанов и т. п. Маршрут обработки блоков автотракторных двигателей зависит от применяемого оборудования и технологических баз (прилож. 9).

Обработка блоков в автоматизированном производстве. При большом выпуске блоков (30—50 шт./ч) для некоторых операций применяют автоматические линии. Например, для обработки одного из блоков отечественной конструкции изготовлены семь автоматических линий с выделением ряда операций, производимых вне линий.

Обработку начинают с фрезерования базисных площадок вне линии. На первой линии обрабатывают плоские поверхности. Линия состоит из пяти горизонтально-протяжных станков. Последовательно протягиваются боковые пластики, верхняя и нижняя плоскости начерно, места под крышки коренных подшипников и нижняя плоскость начисто.

Вторая линия состоит из трех участков, на которых производится:

- 1) обработка базовых отверстий, сверление маслопроводных и водоводных каналов, резьбовых отверстий;
- 2) фрезерование торцов;

3) предварительное сверление продольных отверстий и обработка отверстий на торцах.

Третья линия состоит из двух участков, на которых выполняются:

1) черновая и получистовая обработка посадочных поверхностей под гильзы, обработка отверстий в верхней части блока;

2) сверление отверстий под толкатели, сверление и зенкование отверстий под резьбу, сверление маслопроводных каналов со стороны нижней плоскости и крышки блока.

Четвертая линия состоит из двух участков, где выполняются:

1) фрезерование торцов коренных опор и выемок в них;

2) окончательная обработка отверстий с нижней стороны, нарезание резьбы в отверстиях со стороны крышки, обработка отверстий с боковой стороны.

Затем вне линии протягивается начисто верхняя плоскость.

Пятая линия. На вертикально-расточных многошпиндельных станках обрабатываются (начисто) отверстия под вставные гильзы. Снова вне линии выполняют чистовое протягивание мест под коренные подшипники, промывку, продувку, контроль, проводят гидравлические испытания водяной рубашки и маслопроводных каналов и устанавливают крышки подшипников.

Шестая линия состоит из агрегатно-расточных многошпиндельных станков, на которых производится получистовое растачивание отверстий под коленчатый и распределительный валы и отверстия под палец паразитной шестерни. Вне линии запрессовывают втулки и устанавливают штифты.

Седьмая линия состоит из восьми горизонтально-расточных станков, на которых производится чистовое растачивание отверстий, предварительно обработанных на шестой линии, подрезаются торцы средней коренной опоры и выполняются несколько переходов по развертыванию отверстий в торце, обтачиванию бурта и торца втулки для распределительного вала.

После обработки на седьмой линии блок контролируют, отверстия коренных опор хонингуют, блок промывают, продувают и в него заворачивают шпильки для крепления головки блока.

На всех линиях применяют 54 специальных станка 46 типов и 12 транспортеров. Трудоемкость обработки $t_{\text{ш}} = 1,8 \text{ мин} = 0,03 \text{ ч}$. Станкоемкость — примерно $1,8 \times 54 = 97 \text{ мин}$.

Цеховую себестоимость блока подсчитывают по формуле (21). Примем, что вес блока $P_1 = 70 \text{ кг}$; стоимость 1 кг литья $c = 0,25 \text{ руб.}$; коэффициент использования металла $\eta = 0,65$; средняя часовая заработная плата $\bar{z} = 0,6 \text{ руб.}$; коэффициент накладных расходов $q = 5,5$.

Подставив значения этих величин в формулу (21), получим цеховую себестоимость блока:

$$C = \frac{0,25 \cdot 70}{0,65} + 0,6 \cdot 0,03 (1 + 5,5) \approx 27 \text{ руб.}$$

Перспективы развития процессов обработки корпусных деталей. Главную часть заготовок и в дальнейшем, по-видимому, будут состав-

лять чугунные отливки. Для единичного и мелкосерийного производства простых станин и корпусов эффективно применять сварные детали. Не исключена возможность появления новых конструкционных материалов, частично заменяющих чугун. Уже в настоящее время для тяжелых станин применяют железобетон с чугунными или стальными накладными направляющими. Для автомобильных блоков применяют алюминиевые и магниевые сплавы.

При обработке корпусных деталей главной является обработка плоских поверхностей и отверстий. Поэтому наряду с уточнением формы заготовок, приближением их к форме готовых деталей и уменьшением припусков на обработку внимание технологов сосредоточено на повышении производительности труда при обработке плоских поверхностей и отверстий.

Для обработки плоских поверхностей в серийном производстве применяют станки-комбайны, на которых можно выполнять строгальные, фрезерные и плоскошлифовальные операции. В крупносерийном производстве будут больше применяться многшпиндельные продольно-фрезерные станки, в массовом — протяжные станки для протягивания плоских поверхностей. Иногда вместо протягивания эффективно применять черновое и чистовое плоское шлифование. Для отделочной обработки будут шире применять плоскошлифовальные станки, работающие периферией круга с охлаждением, как более эффективные и улучшающие условия труда.

Для обработки отверстий в серийном производстве в дальнейшем будут больше применяться сверла с твердосплавными коронками, работающие по чугуну со скоростями до 90 м/мин, твердосплавные развертки, работающие со скоростями резания до 50 м/мин, комбиниру-

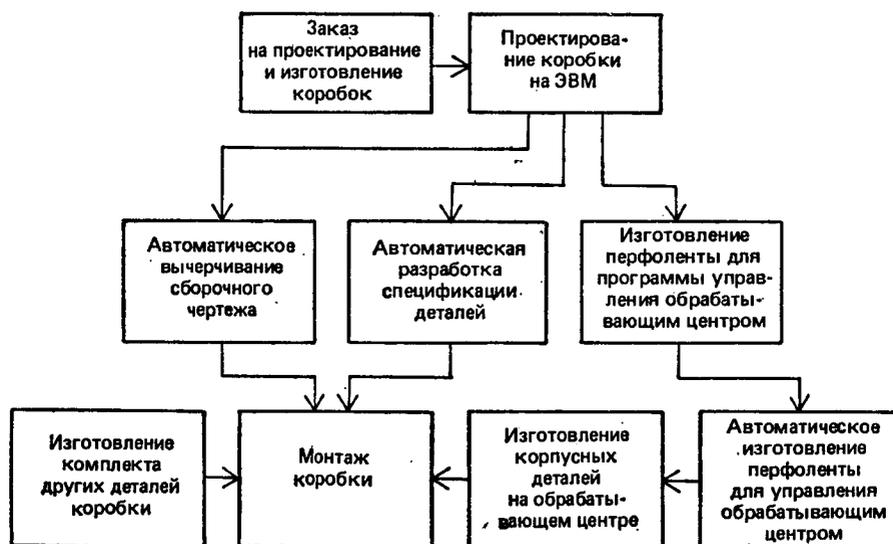


Рис. 43. Схема автоматического проектирования технологических процессов изготовления коробок передач.

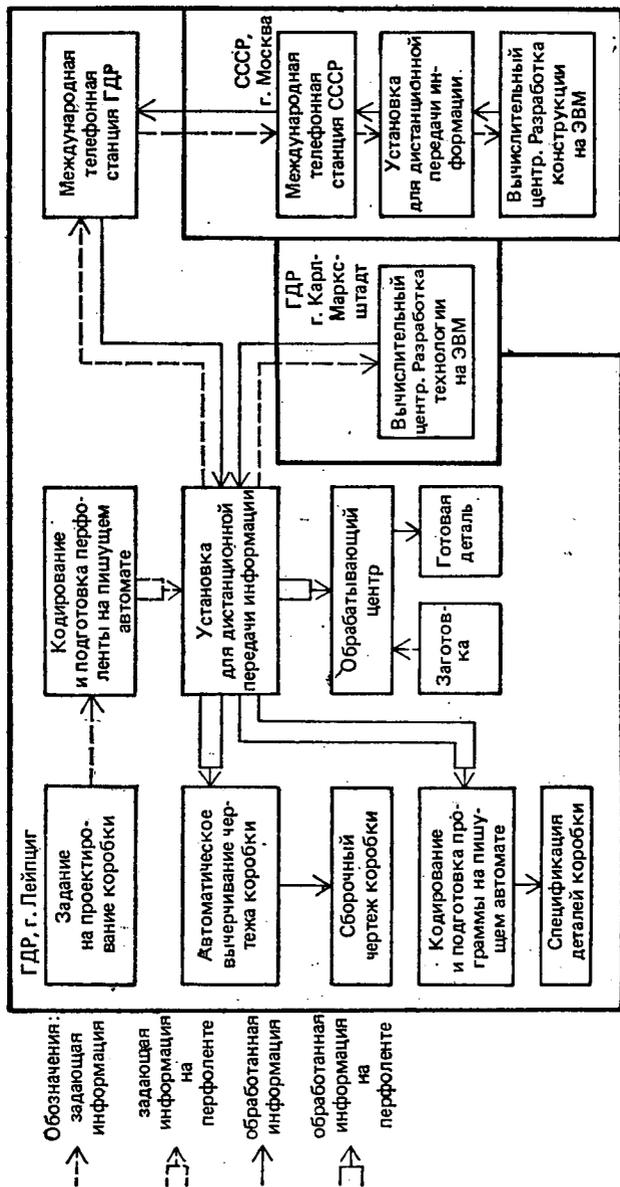


Рис. 44. Схема автоматического проектирования и изготовления коробок передач при разделении функций между отдельными вычислительными центрами и предприятиями.

ванные твердосплавные инструменты и новые сверхтвердые материалы. Для растачивания точных отверстий эффективно применять твердосплавные оправки, которые более жестки и виброустойчивы, чем стальные, и позволяют работать с высокими скоростями резания (до 100 м/мин).

В крупносерийном производстве дальнейшее развитие получают поточные линии, составленные из агрегатных сверлильных, расточных и резбонарезных станков, переналаживаемые автоматические линии для обработки отверстий, а также линии, составленные из станков с программным управлением и обрабатывающих центров. В массовом производстве для тех же целей будут шире применяться автоматические линии из специальных агрегатных станков с программным управлением.

В СССР уже разработаны и внедрены в производство методы проектирования многошпиндельных коробок агрегатных станков на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ). Такие коробки изготавлиют на обрабатывающих центрах, причем технологические процессы с оптимальными режимами резания разрабатывают также на ЭВМ. Схема таких разработок приведена на рис. 43.

В ближайшее время проектирование с помощью ЭВМ будет интенсивно развиваться. При развитой системе телефонно-телеграфной связи осуществление этого возможно не только в пределах одной страны, но и между городами разных стран. Примером этому может служить совместное проектирование и изготовление сложных многошпиндельных головок для агрегатных станков, осуществляемое на предприятиях СССР и ГДР (рис. 44).

§9. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ «КРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ»

Общие сведения. К деталям класса «круглые стержни» относятся валы и оси (гладкие, ступенчатые и пустотелые), валы с фасонными частями (кулачками, шлицами, зубчатыми венцами, фланцами), штоки, круглые тяги, обработанные трубы и т. п. (рис. 45).

Основные технологические задачи, которые ставятся при обработке деталей этого класса, следующие:

- 1) получить наружную поверхность вращения с требуемой степенью точности;
- 2) получить глубокие центральные отверстия, концентричные наружной поверхности в пустотелых валах;
- 3) выполнить шпоночные канавки и шлицы, параллельные оси вала;
- 4) получить резьбы, соосные с наружными поверхностями или внутренними точными цилиндрическими отверстиями.

Технологические решения зависят от конфигурации валов, размеров их и количества выпуска.

Технические условия. При использовании современных технологических методов изготовления валов технические условия на готовые детали назначают в пределах, указанных в табл. 13.

Отклонения формы и расположения поверхностей взяты по ГОСТ 2.308—79.

Таблица 13. Технические условия на изготовление валов

Условия	Квалитет	Параметры шероховатости, мкм
Точность диаметральных размеров шеек при обработке: резцом на токарном станке с ручным управлением на таком же станке с обкаткой роликом на токарном станке с автоматическим управлением на шлифовальном станке	6—7	2,5—0,8
		0,63—0,32
Точность предельных размеров при обработке: на токарном станке с ручным управлением при обработке на токарном станке с автоматическим управлением на шлифовальном станке по методу «врезания» при продольном шлифовании	5	1,25—0,63
		0,63—0,16
Радиальное биение шеек		0,32—0,08
Торцовое биение опорных торцов		±0,1 + ±0,3
		±0,08 + ±0,2
Несоосность резьб с осью вала		±0,05 + ±0,12
		±0,06 + ±0,15
Непараллельность шпоночных пазов оси шпинделя		0,02 до 0,04
		0,02—0,03
Смещение оси шпоночного паза относительно оси вала		на радиусе 50 мм
		±0,02 по среднему диаметру
		0,03 на длине 100 мм
		0,02—0,03

Примечание. Размеры даны в миллиметрах.

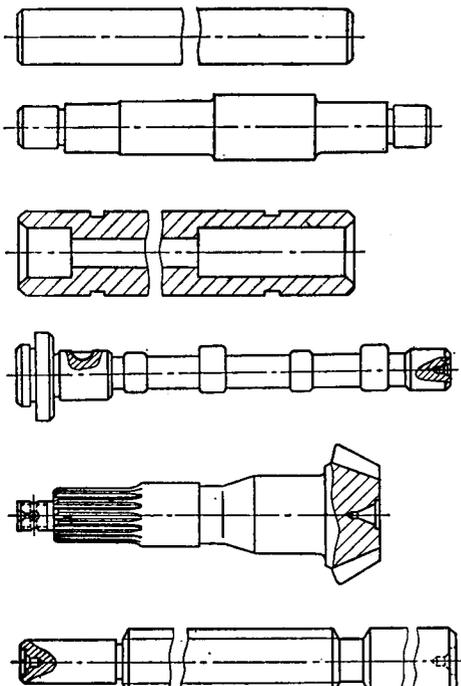


Рис. 45. Типы деталей класса «круглые стержни».

Как видно из этой таблицы, точность обработки по показателям радиального биения, соосности и шероховатости поверхности колеблется в широких пределах и зависит от назначения вала и применяемых технологических методов.

Материалы для валов. В среднем и тяжелом машиностроении для валов применяют стали следующих марок 25, 30, 35, 40, 45, 45Г2, 40Х, 35ХС, 40ХС, 35СГ, 30ХНЗ, 35ХНЗМ, 45ХН2МФ и др. (приложение 8). Чаще всего применяются стали 45 и 40Х. В автотракторной, транспортной, электротехнической промышленности используют стали и других марок, что связано со специфическими особенностями этих отраслей.

Для крупных валов и шпинделей применяют литые валы из высокопрочного чугуна марки ВЧ45-5.

Заготовки для валов изготовляют различными способами. В большинстве случаев для валов, диаметры ступеней которых отличаются мало, заготовки отрезают из прокатного материала. Для валов, диаметры ступеней которых отличаются больше, чем на 10 мм, заготовки отрезают из проката и затем куют под молотами либо штампуют в подкладных или закрытых штампах. Иногда заготовки обжимают на ротационно-ковочных машинах, а потом обрабатывают на станках. В ряде случаев (при длинных гладких валах) целесообразно применять валы из холоднотянутой стали, хотя эта сталь стоит на 50 % дороже горячекатаной.

Таблица 14. Припуски на обработку валов из поковок, мм

Длина вала, мм	Припуск на диаметр и допуск на припуск при диаметре уступа вала, мм	
	50—75	100—150
500—750	10±5,0	15±5,0
1000—1500	13±5,0	18±6,0

Главные требования к заготовкам для валов — хорошая прямолинейность и наименьший припуск на обработку. При непрямолинейной заготовке припуск будет сниматься неравномерно, что может вызвать вибрации. Непрямолинейность заготовки не должна выходить за пределы 0,1 — 0,15 мм на 1 м длины. При правке на специальных правильно-калибровочных станках отклонение от прямолинейности может быть достигнуто до 0,05 мм на 1 м длины.

Припуски на обработку. При изготовлении валов из проката общий припуск дается с учетом всех межоперационных припусков и допускаемой кривизны прутков. Размер заготовки округляют до ближайшего размера прокатного прутка по сортаменту ГОСТ или ограниченного сортамента, применяемого на заводе. Например, для деталей с наибольшим диаметром 10—20 мм дается припуск 2 мм на диаметр, для деталей диаметром 21—25 мм — припуск 3 мм, но для детали диаметром 26 мм дается припуск 4 мм, так как в сортаменте есть только размеры прутков 28 и 30 мм. Если диаметр прутка 28 мм, припуск получится 2 мм, что уже недостаточно для обработки, поэтому приходится брать пруток диаметром 30 мм в соответствии с сортаментом прутков. По тем же соображениям деталям диаметрами 27; 35; 42; 45 мм дается припуск 3 мм, а деталям диаметрами 34; 36; 38; 44 мм и больше — припуск 4 мм и т. д. С увеличением длин и диаметров деталей величины припусков увеличиваются. Например, для детали диаметром 100 мм при длине 400 мм дается припуск 5 мм, а при длине 1200 мм — припуск 10 мм.

Когда изготавливают вал из поковки, полученной под молотом, припуски могут достигать больших величин. Примеры величин припусков для этого случая приведены в табл. 14.

При штамповке ступенчатых валов в подкладных штампах припуски на обработку можно снизить на 40—50 %. Если штампуют валы длиной до 750 мм в закрытых штампах, припуски уменьшают до 3—4 мм на диаметр уступа.

Припуски на чистовую токарную обработку оставляют величиной 1—1,5—2 мм, на шлифовку 0,2—0,4—0,6 мм на сторону (большие цифры — для больших валов). На ротационно-ковочных машинах

Таблица 15. Средние режимы обработки деталей класса «круглые стержни»

Переход	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Разрезание проката дисковой пилой	15—30	92 мм/мин
Отрезание заготовки резцом	40	0,1
Подрезание торцов черновое, резцом	70	0,5
Подрезание торцов чистовое, резцом	175	0,4
Обтачивание черновое	105	0,4
Обтачивание чистовое	120	0,15
Шлифование грубое на центрах с продольной подачей	24 *	14
Шлифование чистовое на центрах с продольной подачей	30 *	10

* Частота вращения детали, м/мин. Частоту вращения шлифовального круга принимают 25—50 м/с.

можно получить припуски до 0,3—0,4 мм на диаметр уступа; заготовки после центrovания, минуя токарную обработку, можно сразу шлифовать. Точные значения припусков в зависимости от диаметра и длины валов, а также от намеченной термообработки и сортамента проката даются в справочниках и заводских таблицах нормалей.

Технологические базы. В качестве черновых баз принимают необработанные наружные поверхности. Чистовые базы — преимущественно дополнительные центровые отверстия, центровые фаски для пустотелых валов. В некоторых случаях при обработке точных пустотелых валов и шпинделей ведется обработка на специальных центровых пробках (базой служат точно обработанные внутренние конусные или цилиндрические отверстия).

При фрезерных, шпоночно-фрезерных, сверлильных операциях, при установке вала на призмах как базовые поверхности используют опорные шейки под подшипники или шейки под насаживаемые на вал зубчатые колеса, муфты, шкивы и т. п.

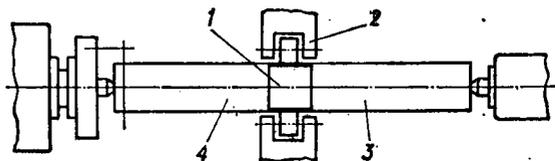
Основные операции при обработке гладких и ступенчатых валов — это центrovание, обточка на токарных станках, шлифование посадочных поверхностей, доводка (притирка, суперфиниш) точных шеек под подшипники, фрезерование шлицов и шпоночных пазов. Для пустотелых точных валов и шпинделей выполняют дополнительные операции: растачивание центрального отверстия и внутреннее шлифование посадочных поверхностей.

Второстепенные операции: сверление смазочных отверстий, сверление и нарезание мелких отверстий, фрезерование лысок, скосов, снятие фасок, прорезание канавок и т. п.

Погрешности установки. При установке на центрах возможен перекос заготовки и снятие неравномерного припуска вследствие неточного центrovания и получающегося несовпадения осей центровых отверстий. При фрезеровании на призмах возможны отклонения размера фрезеруемой площади вследствие колебаний фактических размеров вала в пределах допуска.

Погрешности обработки возникают в результате износа, затупления и деформаций режущих инструментов, неравномерности припусков,

Рис. 46. Схема токарной обработки гладких валов.



неравномерной твердости заготовок, деформаций частей суппорта и станка, температурных деформаций заготовки и инструментов.

Оптимальные режимы обработки для одноинструментной обработки рассчитывают аналитически по схеме, указанной в табл. 5, или выбирают по нормативам [12]. Для многоинструментной обработки оптимальные режимы находят по методике, приведенной ранее. Средние режимы обработки указаны в табл. 15.

Обработка гладких и ступенчатых валов. В общем случае обработку валов можно разделить на черновую, чистовую и отделочную. Валы можно обрабатывать по принципу дифференциации и по принципу концентрации операций. Гладкие длинные валы обрабатывают по принципу дифференциации. Единичные экземпляры обрабатывают последовательно по всем операциям; партии валов — последовательно по всем операциям, но при обработке на каждой операции всей партии деталей. Для сокращения цикла обработки партии валов различные операции можно выполнять одновременно на различных станках.

Если изготовляют длинные гладкие валы длиной $l > 10d$, применяют следующий маршрут обработки:

Номер операции	Операция
1	Правка прутка на правильно-калибровочных станках
2	Разрезание прутка на заготовки заданной длины
3	Сверление центровых отверстий на токарном станке с люнетом (при длине вала более 1,5 м)
4	Черновая токарная обработка
5	Чистовая токарная обработка
6	Фрезерование шпоночных канавок
7	Шлифование на бесцентрово- или круглошлифовальном станке

При токарной обработке (операции 4 и 5) применяют следующие приемы (рис. 46). Протачивают шейку под неподвижный люнет 1, устанавливают люнет 2, обтачивают конец вала 3 начерно. Затем вал переставляют на центрах и обтачивают конец вала 4 начерно и начисто. Вал снова переставляют на центрах и обтачивают конец вала 3 начисто. Небольшие ступеньки между шейкой под люнетом и концами вала снимают при шлифовании. Легкие, тонкие валы следует обтачивать с подвижным люнетом, закрепляемым на суппорте станка.

Если есть бесцентрово-токарный станок, можно наметить следующий маршрут обработки:

- 1) правка прутка на правильно-калибровочном станке;
- 2) обдирка прутка на бесцентрово-токарном станке;
- 3) разрезание прутка на заготовки дисковой пилой;
- 4) шлифование на бесцентрово-шлифовальном станке.

Таблица 16. Маршрут обработки ступенчатых валов

Номер операции	Операция для		Примечания
	проката	поковки	
1	Правка прутка	Проверка поковки	Для валов длиной до 1,5 м применяется фрезерно-центровальный станок Если требуется по чертежу
2	Разрезание прутка по длине заготовки на дисковой пиле		
3	Фрезерование торцов		
4	Центрование торцов		
5	Обточка конца на токарном станке для захвата патроном		
6	Черновая обработка на многорезцовом станке одного конца вала		
7	То же, другого конца		
8	Чистовая обработка на многорезцовом станке одного конца вала		
9	То же, другого конца		
10	Фрезерование шпоночных канавок		
11	Сверление отверстий, нарезание резьбы		
12	Шлифование шеек		

Маршрут обработки ступенчатных валов приведен в табл. 16.

Вместо многорезцовой токарной обработки можно применять обточку на гидрокопировальных станках типа 1722. В этом случае производится обточка по копиру одним резцом, но времени на гидрокопировальную обработку затрачивается столько же, столько и на многорезцовую обточку. Это объясняется тем, что при такой обработке можно применять более высокие скорости резания (около 120 м/мин) и получать меньшие потери времени на смену и регулирование инструментов, устранить проверку диаметров и длин ступеней.

Для обработки небольших валиков (длиной до 500 мм) можно применять гидросуппорт (рис. 47), устанавливаемый на универсально-токарный станок.

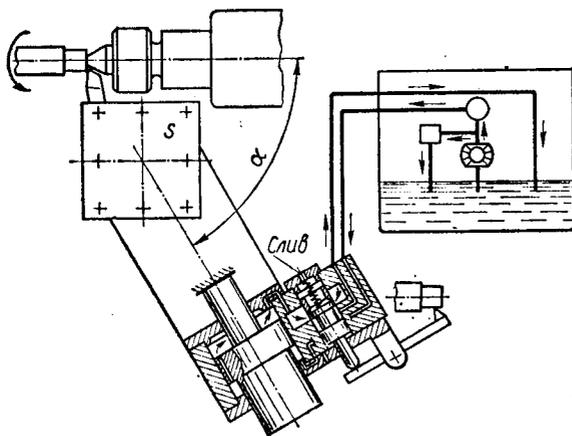


Рис. 47. Гидросуппорт к токарному станку
 α — угол наклона суппорта.

В серийном производстве для обработки ступенчатых валов создаются технологические участки (пролеты) валов с переменнo-поточными линиями.

Мелкие серии ступенчатых валов успешно обрабатываются на токарных станках с программным управлением и адаптивной самонастраивающейся системой регулирования. Токарные станки некоторых типов снабжаются револьверной головкой. Пример

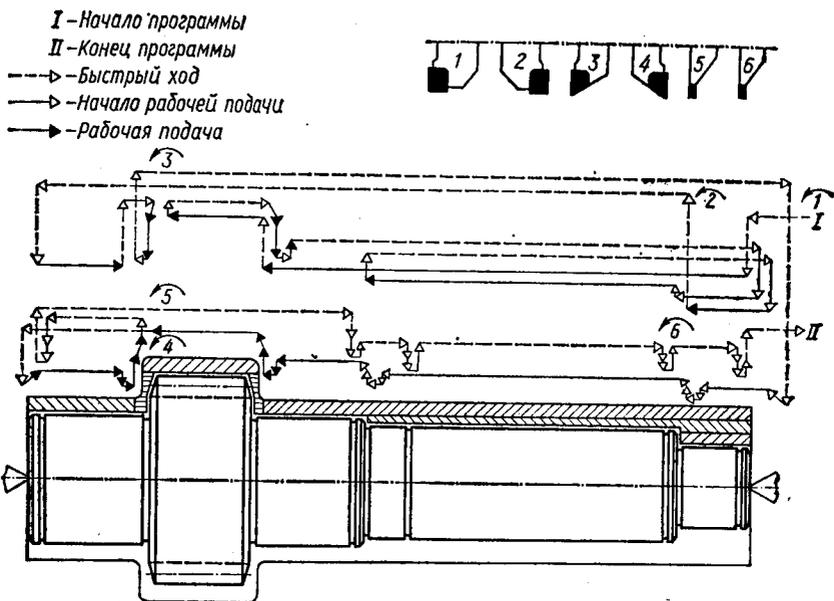


Рис. 48. Схема обработки ступенчатого вала на токарном станке с программным адаптивным управлением.

обработки ступенчатого вала на таком станке показан на рис. 48. По схеме, показанной на нем, легко проследить за движениями револьверной головки с шестью резцами *I—6* при обработке вала и за общим ходом процесса обработки.

В крупносерийном производстве применяют переналаживаемые поточные и автоматические линии, составленные из станков общего назначения. На заводах с массовым производством создаются автоматические поточные линии, составленные из специальных станков для обработки валов.

Обработка шпинделей. Наиболее сложными и точными ступенчатыми деталями класса «круглые стержни» являются шпиндели металлорежущих станков (рис. 49), в особенности пустотелые с точными внутренними поверхностями.

Технические условия на изготовление шпинделей зависят от того, для станка какой точности они предназначены. Различают станки

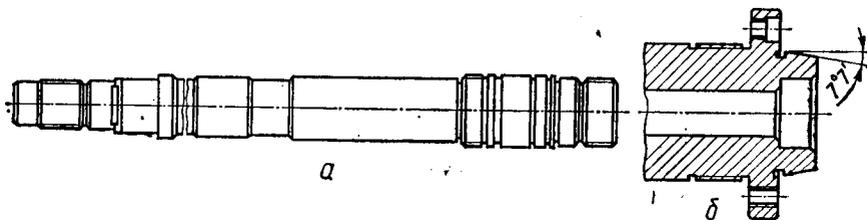


Рис. 49. Шпиндель токарного станка:
a — с центрирующим буртиком; *б* — с центрирующим конусом.

Таблица 17. Технические условия на изготовление шпинделей металлорежущих станков

Условия	Допускаемые отклонения
Точность диаметральных размеров шеек шпинделей для станков:	
нормальной точности	6-й квалитет
повышенной точности	5-й »
прецизионных	5-й »
Некруглость шеек шпинделей для станков:	
нормальной точности	$\frac{1}{3}$ поля допуска на диаметр
повышенной точности	$\frac{1}{4}$ поля допуска на диаметр
прецизионных	$\frac{1}{10}$ поля допуска на диаметр
Отклонения профиля продольного сечения подшипниковых шеек для станков:	
нормальной точности	$\frac{1}{3}$ поля допуска на диаметр
повышенной точности	$\frac{1}{4}$ поля допуска на диаметр
прецизионных	$\frac{1}{10}$ поля допуска на диаметр
Шероховатость поверхностей опорных шеек шпинделей станков:	
нормальной точности (на подшипниках качения)	Ra 1,25—0,32 мкм
повышенной точности (на подшипниках качения)	Ra 0,32—0,08 мкм
прецизионных (на подшипниках скольжения)	Ra 0,16—0,64 мкм
Радиальное биение опорных шеек шпинделей станков:	
нормальной точности	0,01 мм
повышенной точности	0,003—0,005 мм
прецизионных	0,001—0,003 мм
Торцовое биение опорных фланцев шпинделей станков:	
нормальной точности	0,008—0,01 мм на радиусе 100 мм
повышенной точности	0,005—0,008 мм на радиусе 100 мм
прецизионных	0,003—0,005 мм на радиусе 100 мм
Несоосность опорных шеек относительно общей оси шпинделя станка:	
нормальной точности	0,015—0,02 мм на длине 300 мм
повышенной точности	0,01—0,015 мм на длине 300 мм
прецизионных	0,005—0,001 мм на длине 300 мм
Несоосность резьб относительно общей оси шпинделя станка:	
нормальной точности	0,025 мм по среднему диаметру резьбы
повышенной точности	0,02 мм по среднему диаметру резьбы
прецизионных	0,015 мм по среднему диаметру резьбы

нормальной и повышенной точности, а также прецизионные. Основные технические условия на изготовление шпинделей для станков различных степеней точности приведены в табл. 17.

Материалы, применяемые для шпинделей, выбирают в зависимости от того, в каких подшипниках они вращаются. Если шпиндели вращаются в подшипниках качения, применяют сталь марок 45, 40Х, высокопрочный чугун, если в подшипниках скольжения, то, кроме стали марок 45, 40Х, применяют цементируемую сталь марок 20Х, 12ХНЗ и азотируемую сталь марки 38ХМЮА.

Если на заводе есть установки для нагрева под закалку токами высокой частоты (ТВЧ), цементируемые стали заменяют закаливаемыми марок 45, 40Х. Это позволяет избежать длительной и негигиеничной термической обработки — цементации и последующей закалки.

Азотируемые стали 38ХМЮА и другие применяют, когда необходимо получить точные, особо твердые, износостойчивые опорные шейки шпинделя, работающие в условиях тяжелой нагрузки.

Заготовки для шпинделей изготавливают из круглого проката или штампуют под молотом в подкладных штампах. Небольшие шпиндели (длиной до 600 мм) можно штамповать в закрытых штампах и на горизонтально-ковочной машине. Начинают развиваться обработка заготовок шпинделей на ротационно-ковочных машинах или продавливание ступеней шпинделя через фильеры (экструдинг-процесс). Последние два способа дают большую экономию металла.

Припуски на обработку шпинделей назначают в пределах, указанных на с. 97.

Последовательность обработки шпинделей и применяемое оборудование следующие:

1. Подрезают торцы заготовок и делают центровые отверстия (дополнительная база). Подрезают торец на токарном станке в люнете, если шпиндель длиннее 1,5 м.

Центруют заготовку на токарном станке в люнете или на центральном двустороннем либо одностороннем станке. При центровании на одностороннем станке эту операцию выполняют в поворотном приспособлении. Если длина заготовки до 1,5 м, центрование выполняют на фрезерно-центральной станке (одна операция с двумя переходами) (рис. 50).

2. Наружные поверхности обрабатывают начерно на токарных универсальном, многолезцовом, гидрокопировальном станках или на токарном станке с программным управлением. Припуск на последующую обработку составляет 2—2,5 мм на сторону.

3. Осевое отверстие обрабатывают начерно на станках для глубокого сверления спиральными сверлами с удлинителями, пластинчатыми сверлами или сверлильными коронками (при диаметре отверстия свыше 50 мм). В зону обработки подается охлаждающая жидкость, под давлением от 2 до 20 атм.

Если разница в диаметрах ступеней небольшая и нет буртиков большого диаметра, можно изготавливать шпиндель из толстостенной трубы. При этом значительно уменьшается трудоемкость детали и повышается коэффициент использования металла.

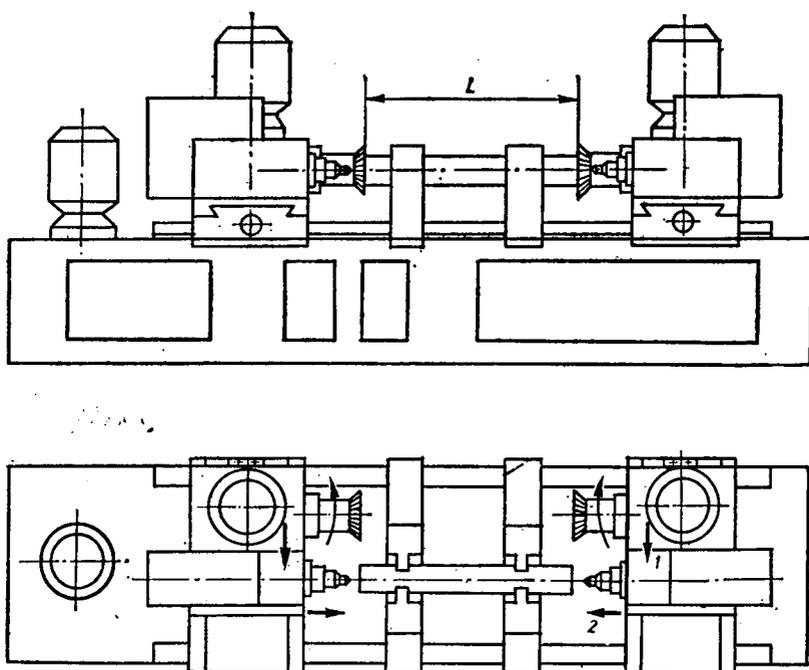


Рис. 50. Схема фрезерования и центрования торцов валов на фрезерно-центровальном станке:

1 — подача фрезы; 2 — подача сверла; L — длина вала.

4. После черновой обработки на обработанных поверхностях образуется упрочненный слой (наклеп), вызывающий большие внутренние напряжения в металле. Чтобы устранить наклеп и избежать появления трещин, при последующей закалке производят отжиг деталей.

5. После термообработки заготовка может несколько деформироваться. Места, требующие правки, определяют с помощью индикаторов при вращении заготовки в приспособлении с центрами. Правку делают на гидропрессе.

6. Чистовую обработку осевого отверстия выполняют на токарном станке с люнетом для снятия в отверстии окалины, возникающей после отжига, и для получения центровых фасок, которые будут служить базой при дальнейшей обработке.

7. Обтачивают начисто наружные поверхности на токарных, много-резцовых токарных или гидрокопировальных станках, при установке заготовки на центровых фасках. Припуск на последующую обработку составляет 0,3—0,4 мм на сторону. Если на некоторых частях шпинделя перед закалкой надо снять цементационный слой (например, под резьбу), то на них оставляют припуск 3—4 мм на сторону.

8. Обрабатывают начисто посадочные цилиндрические или конические отверстия на токарных станках с люнетом при наличии таких отверстий на переднем и заднем конце шпинделя.

9. Чтобы получить твердый износоустойчивый поверхностный слой на поверхностях скольжения детали, изготовленной из малоуглеродистой стали, их цементируют. Шпиндели из стали 20X нагревают в ящиках с карбюризатором до температуры 900—920 °С. Ящики выдерживают в печи при этой температуре несколько часов, считая примерно по 1 ч на каждые 0,1 мм толщины слоя цементации. Затем детали охлаждают с ящиком до комнатной температуры. При более прогрессивной газовой цементации длительность технологического процесса сокращается в 2 раза. Для деталей из закаливаемых сталей (марок 45, 40X) шейки шпинделя нагревают током высокой частоты (ТВЧ) и закаливают при охлаждении жидкостью.

10. После цементации до закалки снимают с мест, не подлежащих закалке, припуск 3—4 мм, упомянутый в п. 8. Операцию выполняют на токарном станке.

11. Пока зацементированные поверхности не закалены, необходимо сделать шпоночные канавки на шпоночно-фрезерных или вертикально-фрезерных станках, устанавливая заготовки на призмы.

12. Если шпиндель имеет форму переднего конца, показанного на рис. 49, б, то во фланце отверстия обрабатывают, устанавливая шпиндель на призму по шейке. Накладной кондуктор устанавливают по фланцу.

13. Закалку шеек и конусной части предпочтительно делать при нагреве ТВЧ. Нагревают их при медленном вращении шпинделя (сначала наружную поверхность, затем конусную часть).

Когда конус нагревается, то отпускаются закаленные наружные поверхности при температуре 250 °С. Температуру контролируют по изменению цвета штрихов, нанесенных термочувствительным карандашом на отпускаемую поверхность.

Твердость после закалки и отпуска получается $HRC\ 58\div 60$, глубина закаленного слоя 1,5—2,5 мм.

14. После закалки возможны повторные деформации шпинделя. Перед отделочными операциями необходима еще одна проверка заготовки на центрах, правка и тщательная зачистка центровых фасок.

15. Нарезают резьбы на концах шпинделя на точных токарных станках; окончательный проход выполняют дисковым резьбовым резцом. На окончательную обработку резьбы переднего конца шпинделя оставляют припуск 0,1—0,20 мм на сторону.

16. Отделяют опорные шейки на универсальных или круглошлифовальных станках с последующей притиркой или суперфинишированием специальными головками.

17. Резьба на переднем конце шпинделя должна быть строго соосна с осью шпинделя. Поэтому окончательно снимают припуск, оставленный на операции 16, доводя средний диаметр резьбы до указанного в чертеже размера.

18. Отделочную обработку внутреннего конуса выполняют на внутришлифовальном станке, устанавливая шпиндель в специальном приспособлении по отделанным шейкам (рис. 51). Благодаря этому приспособлению можно устранить влияние неточностей вращения шпинделя обрабатывающего станка на точность вращения обрабатываемого шпинделя.

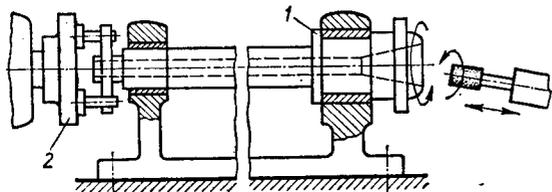


Рис. 51. Приспособление для шлифования внутреннего конуса:

1 — установочное кольцо; 2 — поводковая планшайба.

Шпиндели после шлифования, нарезания точных резьб и отделки необходимо транспортировать и хранить на складе готовых деталей в специальной таре (в вертикальном положении).

Типовой технологический маршрут обработки шпинделя токарного станка по рис. 49 приведен в табл. 18.

Маршрут составлен для обработки заготовки, полученной штамповкой в подкладных штампах. Материал заготовки — цементируемая сталь 20X. Опорные шейки и фланец закаливаются до твердости HRC 58÷60. Шпиндель предназначен для вращения в подшипниках скольжения. Такой шпиндель наиболее сложен в обработке. Более простые варианты обработки указаны в пояснениях к табл. 20. Маршрут составлен для серийного производства.

Особенности обработки валов со специальными частями (зубчатыми венцами, кулачками, фланцами, шлицами и пр.). Первые операции по обработке деталей со специальными частями не отличаются от рассмотренных ранее операций по обработке ступенчатых валов. Выполняют фрезерование или подрезку торцов, центрование, черновое и чистовое обтачивание, включая обтачивание специальных частей, фрезерование шпоночных канавок. Затем детали, на которых должны быть нарезаны зубчатые венцы (конические или цилиндрические), обрабатывают на соответствующих зуборезных станках. Если необходимо, их подвергают термической обработке, затем шлифуют шейки и зубчатые венцы (у цилиндрических венцов с прямыми зубьями).

Кулачковые валы обрабатывают как обычные до обработки кулачков. Кулачки обтачивают и шлифуют на специальных станках.

Отверстия у полых валов обрабатывают на станках для глубокого сверления и растачивания. Характер обработки соответствует обработке отверстий шпинделей станков.

Особого рассмотрения требует обработка валов со шлицевыми частями. Конструктивные формы таких валов показаны на рис. 52. Технические условия на изготовление точных шлицевых валов приведены в табл. 19.

Технологический маршрут обработки определяется способом центрирования втулки по шлицевому валу — по внутреннему диаметру вала (рис. 53, а), по наружному диаметру вала (рис. 53, б), по боковым поверхностям шлицев

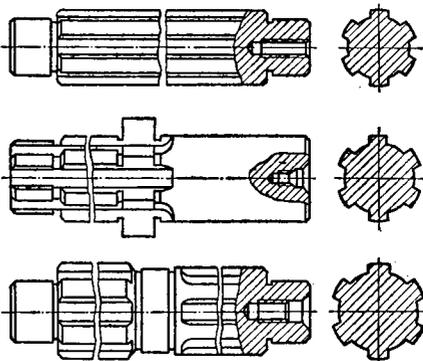


Рис. 52. Конструктивные формы шлицевых валов.

Таблица 18. Маршрут обработки шпинделя токарного станка *

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Черновая обработка торцов. Центрование заготовки	Фрезерно-центровальный станок	Необработанные шейки
2	Черновая обработка наружных поверхностей	Токарный станок	Зацентрированные поверхности
3	Черновая обработка осевого отверстия	Станок для глубокого сверления	Обработанные шейки
4	Термическая обработка (отжиг)	—	—
5	Правка после термообработки	Гидропресс	Обработанные шейки
6	Чистовая обработка осевого отверстия и центровых фасок	Универсальный токарный станок	То же
7	Чистовая обработка наружных поверхностей	Токарный многорезцовый полуавтомат	Центровые фаски
8	Чистовая обработка посадочных цилиндрических или конических поверхностей	Универсальный токарный станок	Обработанные шейки
9	Термическая обработка (цементация)	Печь для газовой цементации	—
10	Удаление цементированного слоя с мест, не подвергающихся закалке	Универсальный токарный станок	Центровые фаски
11	Обработка шпоночных канавок	Фрезерно-шпоночный станок	Обработанные шейки
12	Обработка отверстий во фланце, параллельных оси шпинделя по рис. 48, б	Радиально-сверлильный станок	То же
13	Термическая обработка: закалка шеек и конусной части	Установка ТВЧ	
14	Правка и зачистка центровых фасок	Гидропресс и вертикально-шлифовальный станок	Обработанные шейки
15	Нарезание резьб, соосных с осью вращения	Универсальный токарный станок	То же
16	Отделочная обработка наружных поверхностей	Кругло- или универсально-шлифовальный станок	Осевые посадочные отверстия
17	Проверка резцом резьбы на переднем конце шпинделя (если есть резьба по чертежу)	Прецизионный токарно-винторезный станок	Обработанные шейки
18	Отделочная обработка внутреннего конуса	Внутришлифовальный станок со специальным приспособлением	То же

* Программа выпуска 1000—1500 штук в год.

Примечания:

1. При применении стали марок 45, 40X отпадают операции 9 и 10.
2. При изготовлении шпинделей без термообработки отпадают операции 4, 5, 9, 10, 13, 14.

Таблица 19. Технические условия на изготовление точных шлицевых валов

Условие	Допускаемые отклонения
Точность диаметральных размеров опорных и центрирующих шеек	6-й квалитет
Несоосность опорных и центрирующих шеек относительно общей оси	0,02—0,04 мм
Точность по ширине выступов вала (при перемещающейся втулке)	посадка e9
Точность по шагу выступов (неравномерность шага)	0,02 мм
Непараллельность поверхностей выступов оси вала	0,02/100 мм
Допускаемое смещение выступа относительно поперечной оси вала	0,02 мм
Торцовое биение опорных буртиков	0,02 мм на радиусе 50 мм
Шероховатость поверхностей опорных, центрирующих шеек и боковых поверхностей выступов.	1,25—0,32 мкм

Таблица 20. Маршрут обработки шлицевых валов

Номер операции	Операция
1	Фрезерование торцов и центрование
2	Черновая и чистовая токарная обработка
3	Фрезерование шпоночных канавок
4	Сверление отверстий, снятие фасок и нарезание резьбы в отверстиях (если требуется по чертежу)
5	Черновая обработка шлицев
6	Чистовая обработка шлицев
7	Термообработка (если требуется) и зачистка центровых отверстий после термообработки
8	Отделочная обработка опорных шеек
9	Отделочная обработка боковых поверхностей шлицев и центрирующих диаметров шлицевой части вала

(рис. 53, в), по боковым сторонам эвольвентных выступов (рис. 53, г), по вспомогательной цилиндрической поверхности (рис. 53, д).

При центрировании по внутреннему диаметру вала можно применять закаленные втулки, так как центрирующие выступы втулок удобно шлифовать на внутришлифовальном станке. При центрировании втулки по наружному диаметру упрощается обработка вала, но втулки должны быть только сырыми или улучшенными, так как их надо обрабатывать на протяжном станке. Центрирование по боковым поверхностям шлицев применяют тогда, когда точность центрирования втулки не имеет существенного значения.

Допуски и посадки шлицевых соединений даются для прямобочных соединений в ГОСТ 1139—80, для эвольвентных — в ГОСТ 6033—80.

Главные технологические задачи определяются техническими условиями (табл. 19).

Термообработку и твердость поверхностей скольжения назначают в зависимости от материала, условий эксплуатации шлицевого вала и сопряженной с ним втулки.

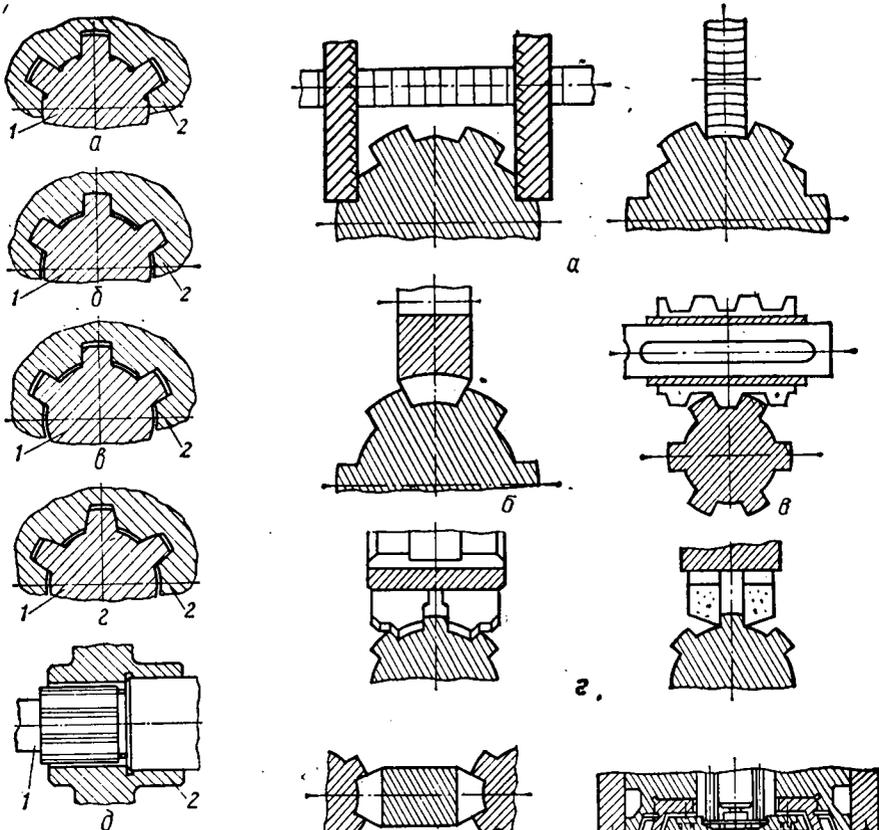


Рис. 53. Центрирование шлицевых втулок на валу:
1 — вал; 2 — втулка.

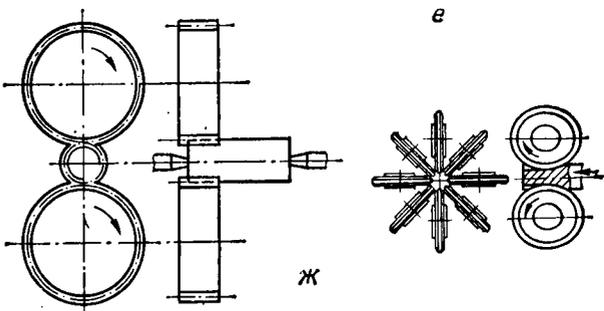


Рис. 54. К способам чистовой обработки шлицевой части валов.

Материал — сталь марок 45, 40X.
Заготовки изготавливают в основном из проката или, при большой разнице в диаметрах ступеней вала, штамповкой, производимой в подкладных или закрытых штампах.
Технологические базы — дополнительные, преимущественно зацентрированные поверхности. На первых операциях (фрезерование торцов

Таблица 21. Способы обработки шлицев

№ операции	Способ обработки	Рисунок
5—6	Фрезерование дисковыми двусторонними фрезами и профильной фрезой.	54, а
	Фрезерование профильной фрезой	54, б
	Фрезерование червячной фрезой по способу обкатки	54, в
	Фрезерование фасонными фрезами в два прохода	54, г
	Протягивание шлицевых канавок	54, д
	Контурное строгание	54, е
	Накатывание шлицевых выступов (по двум вариантам)	54, ж

и центрование), а также при фрезеровании шпоночных канавок базой служит соответственно черновая и обработанная наружная поверхность. Последовательность обработки шлицевых валов приведена в табл. 20.

Все операции, кроме некоторых по обработке шлицев, выполняются на станках общего назначения. Отличаются от ранее рассмотренных операций по обработке валов — операции 5, 6 и 9 (см. рис. 54 и табл. 21).

Первый способ применяют при выполнении случайных заказов и ремонте, второй — если серии небольшие и нет специального шлицефрезерного станка. По третьему способу — самому распространенному — обработку выполняют на специальных шлицефрезерных станках обкаткой. Обработка по четвертому способу в 3—4 раза производительнее, чем по третьему, ее можно выполнять на универсально-фрезерных станках. Протягивание шлицевых канавок (пятый способ) в 12—15 раз производительнее, чем третий. Его применяют в массовом производстве. Контурное строгание (шестой способ) применяется в автоматических линиях. Недостаток — сложные головки и инструменты для них (специальные резцы).

Седьмой способ начинают внедрять на некоторых предприятиях. Он дает точность по шагу до 0,03 мм, производительность выше, чем при третьем способе в десятки раз, а прочность детали повышается на 10—20 %.

Окончательную отделку шлицевых поверхностей (операцию 9 типового маршрута) выполняют тремя способами:

1) на одношпиндельном станке, работающем тремя кругами (рис. 55, а);

2) на двухшпиндельном станке, работающем тремя кругами (рис. 55, б);

3) на одношпиндельном станке, работающем одним профильным кругом (рис. 55, в).

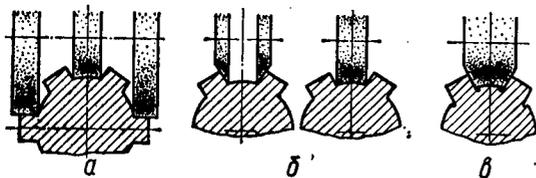


Рис. 55. К способам отделочной обработки шлицевой части валов.

Станки для обработки по первому способу выходят из употребления из-за трудностей, связанных с

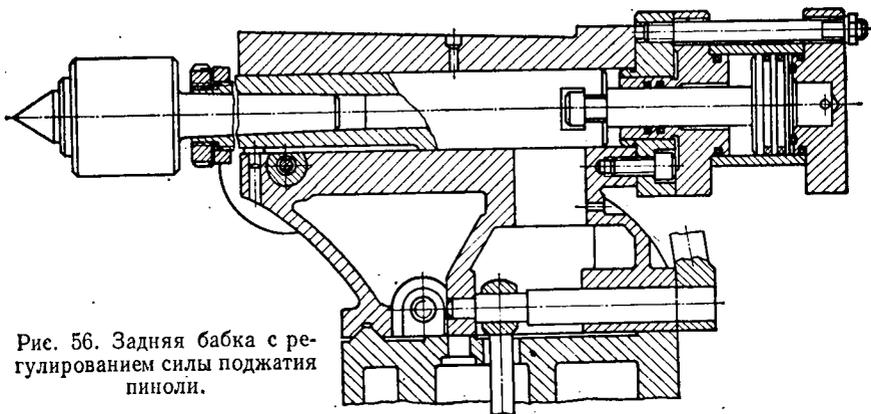


Рис. 56. Задняя бабка с регулированием силы поджатия пиноли.

установлением режима обработки шлифовальных кругов. Если установить правильный режим работы для кругов большего диаметра, то малый круг будет работать с пониженной скоростью резания и быстро «засаливаться». Если установить необходимый режим для малого круга, то большие круги будут перегружены и быстро выйдут из строя.

В настоящее время распространен второй способ обработки. В этом случае для пары больших кругов и для малого круга можно установить оптимальные режимы обработки.

Обработка по третьему способу требует специальных, очень сложных в наладке станков, на которых правку круга по всему профилю выполняют тремя алмазами (с помощью специального пантографического устройства: Эти станки особых преимуществ не имеют и в СССР не изготавливаются.

Для автоматизации производства шлицевых валов в Экспериментальном научно-исследовательском институте металлорежущих станков (ЭНИМС) спроектирована и изготовлена переналаживаемая автоматическая линия. Диапазон размеров обрабатываемых валов: по длине от 150 до 433 мм, по диаметру от 25 до 48 мм. Токарная обработка производится на токарных станках с гидрокопировальным суппортом, шлифовальная — на круглошлифовальных автоматах, работающих по методу врезания. Шлицы изготавливают на шлицестрогальных станках с одновременным строганием всех шлицев специальной головкой (рис. 54, е), которая имеет радиальную подачу резцов (контурное строгание).

Особенности обработки точных нежестких валов. Нежесткими называют валы с большим значением отношения длины вала l к наибольшему диаметру d .

Для нежестких валов при отношении $\frac{l}{d} > 10 \div 12$ применяют специальные приемы обработки.

Главные из них при токарной обработке — это операции промежуточной правки (если это допускается техническими условиями), увеличение числа проходов при обточке точных поверхностей, применение люнетов (неподвижных или подвижных).

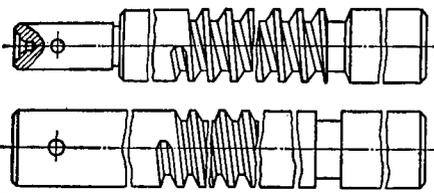


Рис. 57. Ходовые винты металлорежущих станков.

Чтобы не было продольного изгиба из-за приложения больших усилий при зажатии в центрах, применяют задние бабки* с регулированием силы поджатия пиноли с помощью гидроцилиндра (рис. 56).

Наибольшие трудности возникают при изготовлении точных ходовых винтов металлорежущих станков. Эти винты имеют длину $l > 30d$ и глубокие винтовые канавки на большей части (рис. 57). Поэтому жесткость этих винтов очень мала и необходимы специфические приемы обработки, транспортировки и хранения. Эти приемы могут служить примером изготовления нежестких деталей со сложной многократной обработкой. Основное назначение ходовых винтов — передача перемещений к деталям станков, соединенных с винтом.

Основные технологические задачи — получение точной резьбы, соосной с опорными шейками и буртиками вала.

Технические условия на изготовление ходовых винтов определены ведомственной нормалью станкостроения ТУД 22-2. Установлено пять классов точности ходовых винтов: 0; 1; 2; 3; 4.

Ходовые винты класса точности 0; 1 применяют в прецизионных резьбошлифовальных, координатно-расточных станках и точных приборах. Винты класса точности 2 — в токарно-затыловочных, прецизионных винторезных станках и делительных механизмах зубообрабатывающих станков. Винты 3-го класса точности — в токарно-винторезных, резьбофрезерных и других станках нормальной точности; винты 4-го класса точности применяют для прочих станков.

Основные технические условия на изготовление винтов указаны в табл. 22.

Наружный диаметр ходовых винтов классов 0; 1; 2 выполняется по посадке $h6$; класса 3 — по посадке $h8$; класса 4 — по посадке $h7$. Шероховатость поверхности нарезанной части до $0,32$ — $0,16$ мкм, опорных шеек — $0,63$ — $0,32$ мкм.

Основные трудности при изготовлении ходовых винтов связаны с особенностью их формы. Эти особенности формы винтов способствуют появлению деформаций при обработке. Деформации появляются из-за недостаточной жесткости винта при приложении сил резания, из-за изменения внутренних напряжений в металле при нарезании резьбы, из-за изменения температуры при обработке.

Деформации можно уменьшить правильным подбором металла и термообработкой, созданием простых, технологичных конструкций,

* Спроектирована отраслевой лабораторией автоматизации машиностроения Киевского политехнического института.

Таблица 22. Технические условия на изготовление ходовых винтов

Класс точности винта	Допускаемая ошибка шага, мкм	Накопленная ошибка в шаге на всей длине винта, мкм	Допускаемое отклонение половины угла профиля резьбы, мин, при шаге 6—10 мм	Допускаемая овальность сечения, мкм по среднему диаметру резьбы при длине винта 1—2 м	Параметры шероховатости, мкм
0	± 2	8	10	40	0,16—0,08
1	± 3	20	12	60	0,32—0,16
2	± 6	40	18	100	1,25—0,63
3	± 12	80	25	150	2,5—1,25
4	± 25	150	—	250	2,5—1,25

уменьшением колебаний температуры в производственных помещениях, транспортировкой и хранением винтов в вертикальном положении.

Материал. Для закаливаемых и шлифуемых ходовых винтов классов точности 0 и 1 применяют стали марок У10А, ХВГ и 65Г, для термически необрабатываемых винтов — калиброванную горячекатаную сталь марки А40Г.

Заготовки получают из прутков сортового материала, разрезанных на куски, соответствующие длине винта. Прутки горячекатаной стали до разрезания на куски правят на правильном станке и обтачивают на универсально-токарном или бесцентрово-токарном станке. Прутки из калиброванного материала до разрезания не обрабатывают.

Припуски на обработку назначают в зависимости от размера диаметра винта с учетом возможных деформаций вала при черновой обработке и необходимости перецентровки вала. В среднем для винтов диаметром 40—50 мм дается припуск 5—7 мм на сторону, для винтов диаметром свыше 50 мм — 6—8 мм на сторону. По сортаменту пруткового материала соответствующей марки подбирают ближайший размер диаметра прутка.

Технологические базы. На первых операциях черновой базой служит наружная поверхность. Поскольку требуется получить соосность опорных шеек, буртиков и винта, то при дальнейшей обработке базой служат в основном центровые отверстия.

Для устранения деформаций винта при обработке под действием сил резания и силы тяжести применяются люнеты, т. е. в качестве направляющей базы используют наружную поверхность винта. Эта поверхность должна быть хорошо обработана на первых операциях.

Последовательность обработки ходовых винтов и применяемое оборудование следующие:

1. Отрезают заготовку от прутка — в большинстве случаев на отрезном станке дисковыми сегментными пилами.

2. Подрезают торцы и центруют на токарных станках в люнетах при длинных валах (свыше 1,5 м). При длине заготовки до 1,5 м эту операцию с двумя переходами можно выполнять на фрезерно-центровальном станке.

3. Обрабатывают начерно на токарном станке в две установки с люнетом (с поворотом концов винта на 180°). Припуск на последующую обработку 3,5—4 мм.

4. После черновой обработки применяют искусственное старение, чтобы снять внутренние напряжения в материале винта, вызванные правкой прутков и черновой обработкой. Режим старения для винта из стали У10А: нагрев до температуры 550 °С со скоростью 75 град/ч, выдержка при этой температуре 7 ч и охлаждение с печью 75 град/ч. При обработке винт подвешивают вертикально.

5. Выполняют перецентровку гнезд и чистовую токарную обработку под шлифование, так как из-за деформации вала при черновой обработке изменяются положения осей и повреждаются центровые гнезда при термообработке. Чистовую токарную обработку под предварительное шлифование выполняют с припуском 0,3—0,4 мм на сторону.

6. Шпоночные канавки обрабатывают на шпоночно-фрезерном станке при установке винта на призмы.

7. Шлифуют предварительно опорные шейки, буртики и поверхность под резьбу в две установки.

8. Нарезают резьбу на прецизионных токарно-винторезных станках с низкими режимами резания (скорость 2 м/мин, поперечная подача 0,04—0,06 мм). Припуск под получистовое шлифование 0,5—0,6 мм на сторону.

9. Поскольку при нарезании резьбы возникают внутренние напряжения в металле, выполняют вторую термическую обработку в том же порядке и с теми же режимами, что и в операции 4.

10. По тем же соображениям, что и при операции 5, вторично поправляют центровые отверстия.

11. Выполняют получистовое шлифование наружной поверхности с припуском на чистовое шлифование 0,2—0,3 мм на сторону. Шлифование разделяют на получистовое и чистовое, чтобы не было деформаций в винте.

12. Выполняют получистовое шлифование профиля резьбы на резьбошлифовальном станке с припуском на чистовое шлифование 0,2—0,3 мм на сторону.

13. Шлифуют начисто наружную поверхность в пределах поля допуска на изготовление.

14. Выполняют чистовое шлифование профиля резьбы в пределах поля допуска на изготовление резьбы.

15. Осуществляют третью термическую обработку старения в электропечи с нагревом до 160 ± 10 °С. Винт выдерживают при этой температуре 36 ч. На все термообработки партии винтов затрачивается около 80 ч.

16. Выполняют доводку резьбы чугунным притиром, шаржированным абразивом с зернистостью 240—280. Технологический маршрут обработки прецизионного ходового винта классов точности 0 и 1 приведен в табл. 23. Материал — сталь У10А. Менее точные винты обрабатывают по более простому маршруту.

В последние годы широко применяют передачи винт — гайка качения (ВГК), называемые также шариковыми передачами. Эти передачи применяются в приводах точных станков: координатно-расточных, копировальных и станков с программным управлением,

Таблица 23. Маршрут обработки ходового винта

Номер операции	Операция	Применяемое оборудование	Технологические базы
1	Отрезание заготовки по длине	Отрезной станок	Наружная поверхность
2	Подрезание торцов	Токарный станок с люнетом	То же
3	Центрование торцов	То же	» »
4	Черновая токарная обработка наружных поверхностей в две установки	» »	Центровые отверстия Наружная поверхность
5	1-я термическая обработка (старение)	Электрическая печь	—
6	Перецентровка и чистовая обработка под шлифование в две установки	Токарный станок с люнетом	Центровые отверстия Наружная поверхность
7	Обработка шпоночных канавок (если они есть на чертеже)	Фрезерно-шпоночный станок	Наружная поверхность
8	Предварительное шлифование наружной поверхности в две установки	Круглошлифовальный станок с люнетами	Центровые отверстия Наружная поверхность
9	Предварительное нарезание резьбы	Прецизионный токарно-винторезный станок	То же
10	2-я термическая обработка (старение)	Электрическая печь	—
11	Исправление центровых отверстий	Токарный станок с люнетом	Наружная поверхность
12	Получистовое шлифование наружной поверхности	Круглошлифовальный станок с люнетами	Центровые отверстия Наружная поверхность
13	Получистовое шлифование профиля резьбы	Резьбошлифовальный станок	Центровые отверстия
14	Чистовое шлифование наружной поверхности	Круглошлифовальный станок с люнетами	То же
15	Чистовое шлифование профиля резьбы	Резьбошлифовальный станок	» »
16	3-я термическая обработка (старение)	Электрическая печь	» »
17	Доводка опорных шеек	Токарный станок	» »

в приводах для перемещения тяжелых узлов-траверз, стоек и пр. Разрез такой передачи показан на рис. 58, а; наиболее часто применяемые профили сечения резьбы винта и гайки — на рис. 58, б.

Преимуществами передач ВГК перед обычными винтовыми являются:

- а) малый зазор в резьбе;
- б) возможность создания натяга, обеспечивающего осевую жесткость;
- в) высокий к. п. д. передачи (до 0,95—0,98);
- г) постоянство силы трения при изменении скорости движения и малая сила трения покоя.

Технические условия на изготовление точных винтов приведены в Нормали станкостроения ТУД 22-2.

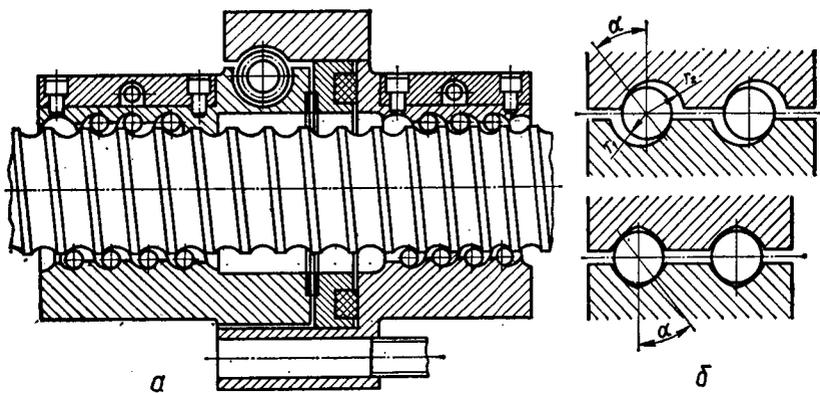


Рис. 58. Передача винт — гайка качения (ВГК).

Технические условия на изготовление винта длиной до 1,5 м следующие:

Точность регулирования натяга	1—2 мкм
Поверхностная твердость	Не меньше HRC 60
Шероховатость поверхности резьбы	0,63—0,32 мкм
Ошибка в шаге резьбы по нормальям станкостроения	
ТУД 22-2 для винтов 1-го класса	±3 мкм
На всей длине винта	Не более 20 мкм
Колесание величины рабочего диаметра резьбы, соответствующего точкам касания шариков	Не более 5—8 мкм на длине 1 м
Овальность, конусность, бочкообразность и другие погрешности формы резьбы	Не выше 0,01 мм на всей ее длине
Материал винта	Сталь ХВГ

Общий припуск на обработку на диаметр заготовки — от 10—15 мм до 12—20 мм, в зависимости от величины диаметра и непрямолинейности заготовки.

Примерный маршрут обработки для винта диаметром 50 мм, длиной 1650 мм из стали ХВГ приведен в табл. 24.

Принципы построения поточных и автоматических линий для обработки валов. При серийном и крупносерийном производстве целесообразно организовывать переменнo-поточные и постоянно-поточные линии для обработки валов. При проектировании переменнo-поточных линий станки устанавливают по ходу технологического процесса обработки наиболее сложных и трудоемких деталей. Транспортируют детали от станка к станку в ящиках или перемещаемых стеллажах на ручных тележках или электрокарах.

При крупносерийном производстве применяют переналаживаемые автоматические линии для обработки валов. Такие линии изготовляют как из станков общего назначения, так и из специальных.

В массовом производстве применяют переналаживаемые автоматические линии, но переналадку их производят при переходе к производству изделия новой модели. Схемы компоновки автоматических линий для обработки валов показаны на рис. 59. По первой схеме (рис. 59, а) собирают линии, составленные из гидрокопировальных

Таблица 24. Маршрут обработки ходового винта передачи винт — гайка качения (ВГК)

Номер операции	Операция	Применяемое оборудование	Технологические базы
1	Отрезание заготовок по длине	Отрезной станок	Наружная поверхность
2	Подрезание торцов	Токарный станок с люнетом	То же
3	Центрование торцов	То же	» »
4	Черновая токарная обработка наружных поверхностей в две установки	» »	Центровые отверстия
5	Термическая: закалка до твердости HRC 60	Шахтная печь	—
6	Предварительное шлифование наружного диаметра резьбы и шеек	Круглошлифовальный станок	Центровые отверстия
7	Нарезание резьбы твердосплавным резцом ВК6М	Прецизионный токарный станок с подвижным люнетом	То же
8	Окончательное шлифование наружного диаметра резьбы и шеек	Круглошлифовальный станок	» »
9	Окончательное шлифование профиля резьбы	Резьбшлифовальный станок	» »

станков с верхним транспортером. По второй схеме (рис. 59, б) собирают линии с шаговым транспортером и поперечными питателями, по третьей (рис. 59, в) — линии с верхней загрузкой и выгрузкой и нижним боковым транспортером, проходящим через рабочие зоны станков.

Для первых операций ставят фрезерно-центровальные станки; заготовки на станки загружают из магазина или специального питателя.

После центрования автоматически контролируется наличие центровых отверстий требуемой глубины, а затем заготовка передается на

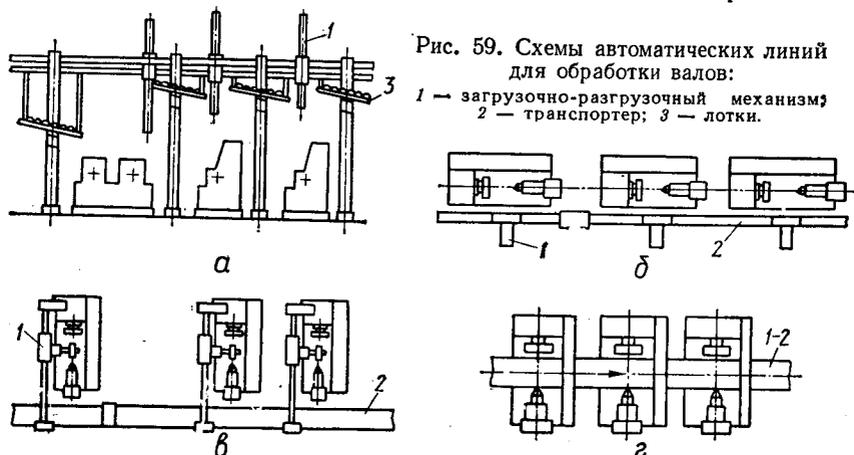


Рис. 59. Схемы автоматических линий для обработки валов:
1 — загрузочно-разгрузочный механизм;
2 — транспортер; 3 — лотки.

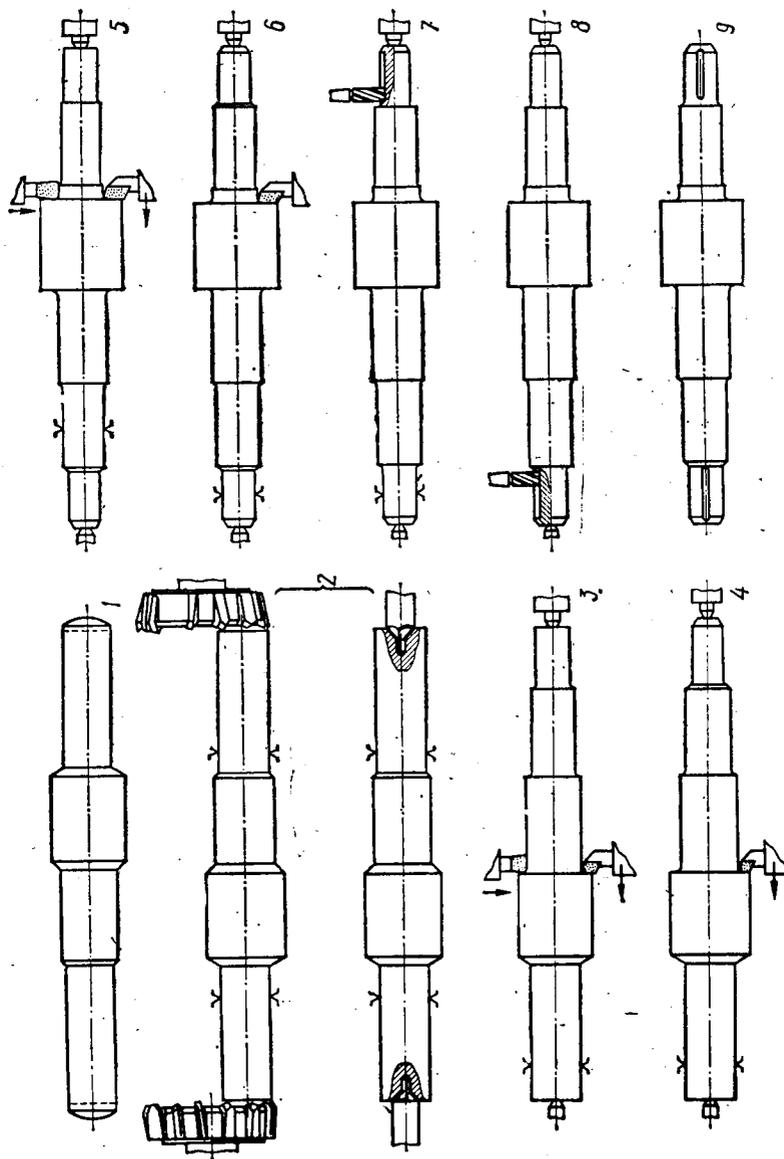


Рис. 60. Схема обработки ступенчатого вала на переналаживаемой автоматической линии:
 1 — заготовка; 2 — фрезерование и центрование торцов; 3 — черновая обточка одного конца; 4 — чистовая обточка
 одного конца; 5 — черновая обточка другого конца; 6 — чистовая обточка другого конца; 7 — фрезерование шпоноч-
 ной канавки на одном конце; 8 — фрезерование шпоночной канавки на другом конце; 9 — готовая деталь.

транспортёр. С транспортера на каждую позицию линии детали подаются в рабочее положение загрузочным устройством. После окончания обработки на данной позиции детали снимаются тем же или другим загрузочным устройством и укладываются на транспортёр. После обработки одной стороны вал поворачивается на 180° специальным автоматическим поворотным устройством и обрабатывается с другой стороны.

Схема токарной обработки ступенчатого вала на переналаживаемой автоматической линии *, составленной из станков общего назначения, показана на рис. 60. Она состоит из пластинчатого транспортера-питателя заготовками фрезерно-центровального станка, двух гидрокopировальных токарных станков для черновой обработки, двух гидрокopировальных токарных станков для чистовой обработки, контрольного устройства, двух модернизированных горизонтальных фрезерных станков для фрезерования шпоночных пазов и гидростанции для приведения в действие шагового транспортера. После окончания обработки одной детали питатель подает очередную заготовку на фронтальный шаговый транспортёр. По окончании обработки детали на последнем станке шаговой транспортёр подает очередные заготовки к станкам.

После черновой и чистовой обработки одного конца ступенчатого вала поворотное устройство, встроенное в шаговый транспортёр, поворачивает вал на 180° , и шаговый транспортёр подает его на обточку второго конца. После токарной обработки вал проходит через автоматический контрольный прибор, контролирующий диаметр вала. Затем транспортёр подает валы к питателю, нагружающему их на фрезерные станки для фрезерования последовательно шпоночных пазов на обоих концах вала.

На линии можно обрабатывать с быстрой переналадкой (3—4 ч на переналадку) любые ступенчатые валы диаметром 25—80 мм, длиной 200—700 мм. Оптимальные партии деталей 500—600 штук.

Определение трудоемкости, станкоемкости и себестоимости деталей класса «круглые стержни». Основные формулы для определения наиболее вероятного машинного времени обработки валов, написанные на основе приложения 2, приведены в табл. 25:

При суммировании длительности обработки всех видов необходимо время обработки на каждом станке умножать на коэффициент вспомогательного и подготовительно-заключительного времени ψ_k по приложению 3. В данном случае для упрощения расчетов в среднем принят $\psi_k = 2,0$. Формулы выведены в предположении, что у рабочего нет других потерь времени, кроме предусмотренных нормативами затрат вспомогательного, подготовительно-заключительного и времени обслуживания рабочего места. Если есть дополнительные потери и снизились средние режимы резания, калькуляционное время обработки будет увеличиваться.

При обработке на многолезцовых станках время обработки необходимо рассчитывать по наиболее нагруженному инструменту. Обычно

* Линия спроектирована и изготовлена по схеме, показанной на рис. 59, б, в Киевском политехническом институте. Работает на Киевском редукторном заводе.

Таблица 25. Наиболее вероятное машинное время обработки ступенчатых валов

Переходы	Квалитет	Шерохова- тость, мкм	Значение t_m , мин
Отрезание заготовки дисковой пилой	16-й	$R_z 80$	$t_m = 0,011d$
Центрование	—	—	$t_m = 0,00056d_1 l_1$
Обтачивание черновое	12-й	$R_z 20$	$t_m = 0,000075dl$
Обтачивание чистовое	11-й	2,5	$t_m = 0,000175dl$
Подрезание торцов начерно	—	$R_z 40$	$t_m = 0,0000224d^2$
То же начисто	—	2,5	$t_m = 0,000011d^2$
Шлифование наружное предварительное	8-й	2,5	$t_m = 0,00012dl$
Шлифование чистовое	6-й	1,25—0,63	$t_m = 0,000184dl$

таким инструментом является инструмент с наиболее длительным временем работы.

Пример. Обработать вал (рис. 61) на токарном и шлифовальном станках. Производство серийное.

Основные данные;

Заготовка: $d = 62$ мм; $l = 506$ мм

Центровое отверстие: $d_1 = 3$ мм; $l_1 = 8$ мм

Шлифованные шейки по 6-му квалитету: $\bar{d}_2 = 46$ мм, $\bar{l}_2 = 100$ мм

Используя формулы, приведенные в табл. 26, сделаем расчет машинного времени обработки:

Операция

Машинное время, мин

Отрезание заготовки

$$t_{M1} = 0,011 \cdot 62 = 0,682$$

Центрование

$$t_{M2} = 0,00056 \cdot 3 \cdot 8 = 0,013$$

Обтачивание черновое

$$t_{M3} = 0,000075 \cdot 62 \cdot 506 = 2,353$$

Обтачивание чистовое по ступеням (припуск на обточку ступеней 2 мм)

$$t_{M4} = 0,000175 \cdot 100 (48 + 52 + 52 + 48) = 3,5$$

Подрезание двух торцов начерно

$$t_{M5} = 2 \cdot 0,0000224 \cdot 62^2 = 0,172$$

То же, начисто

$$t_{M6} = 2 \cdot 0,000011 \cdot 62^2 = 0,084$$

Шлифование двух ступеней предварительное (припуск 0,3 мм)

$$t_{M7} = 2 \cdot 0,00012 \cdot 100 \cdot 46,3 = 1,11$$

Шлифование двух ступеней чистовое (припуск 0,1 мм)

$$t_{M8} = 2 \cdot 0,000184 \cdot 100 \cdot 46,1 = 1,70$$

Общее машинное время

$$\Sigma t_{Mi} = 9,614$$

Калькуляционное время

$$t_k = \Psi_k \sum_1^8 t_{Mi} = 2 \cdot 9,614 = 19,228$$

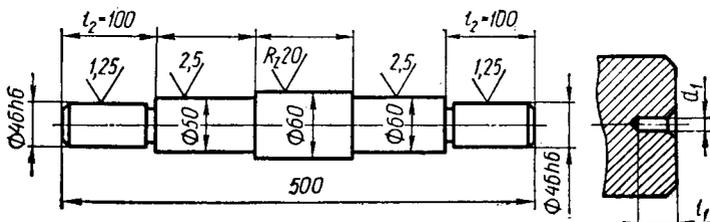


Рис. 61. Ступенчатый вал.

С погрешностью около 5 % калькуляционное время можно принять равным 20 мин.

Поскольку обработка ведется на универсальном оборудовании, то станкочасовая стоимость обработки равна штучному времени. В серийном производстве штучное время отличается от калькуляционного на 2—3 %. Поэтому в данном случае станкочасовая стоимость рассмотренного процесса можно принять равной 19,6 мин.

Себестоимость вала определяют по формуле (21)

$$C = \frac{cP}{\eta} + \bar{s}_m (1 + q) t_k$$

Исходные данные для расчета

Стоимость 1 кг заготовки	$c = 0,2$ руб.
Чистый вес детали по чертежу	$P = 7,9$ кг
Коэффициент использования металла	$\eta = 0,66$
Суммарное калькуляционное время	$t_k = 20$ мин
Минутная заработная плата рабочего	$\bar{s}_m = 0,01$ руб.
Коэффициент накладных расходов	$q = 2$

Подставляя численные значения величин в формулу (21), находим, что цеховая себестоимость данного вала

$$C = \frac{0,2 \cdot 7,9}{0,66} + 0,01 (1 + 2) \cdot 20 \approx 3,0 \text{ руб.}$$

При обработке на автоматической линии изменяются следующие величины: $t_k = t_{ш} = 2$ мин, $q = 4$. Поэтому себестоимость вала по формуле (21)

$$C = \frac{0,2 \cdot 7,9}{0,66} + 0,01 (1 + 4) \cdot 2,0 = 2,49 \text{ руб.}$$

Главную часть себестоимости (40 %) в данном случае составляют расходы на металл. Поэтому при разработке мер по снижению себестоимости валов необходимо обратить внимание на уменьшение расхода металла и повышение коэффициента его использования.

Пути уменьшения трудоемкости обработки и себестоимости валов следующие:

1. Применение заготовок с малыми припусками на обработку, полученных с помощью прогрессивных способов (ротационное обжатие ступеней, горячая штамповка, экструдинг-процесс и др.).

2. Применение холоднотянутого металла для длинных валов с большими обрабатываемыми поверхностями на концах.

3. Уменьшение разницы в диаметрах ступеней крупных валов, применение штамповок, изготовленных в подкладных штампах для уменьшения количества снимаемой стружки при механической обработке.

4. Применение посадок по «системе вала» при наличии многих деталей, сопрягаемых с одним валом, если разница в стоимости обработки ступенчатых и гладких поверхностей валов больше дополнительных расходов на инструменты.

5. Нарезание коротких резьб гребенчатыми фрезами, длинных — дисковыми фрезами на резьбофрезерных станках. Длинные резьбы можно производительно обрабатывать также с помощью головок для вихревого нарезания резьбы: короткие резьбы небольшого диаметра (до 40 мм) на недлинных валиках — накатывать на резьбонакатных станках.

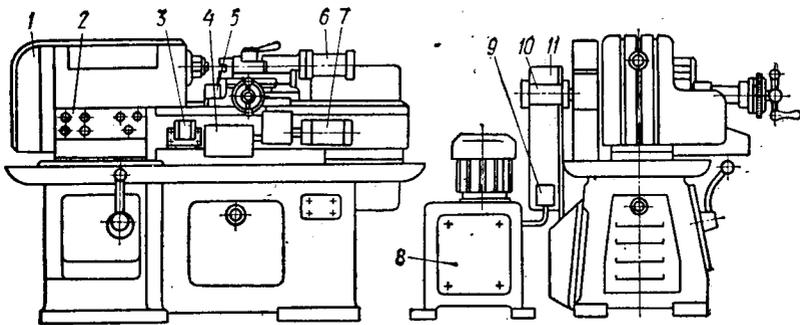


Рис. 62. Автоматизированный токарный станок:

1 — коробка скоростей; 2 — пульт управления; 3 — конечный выключатель продольной подачи; 4 — конечный выключатель поперечной подачи; 5 — автоматическое переключение упоров; 6 — пневмоцилиндр задней бабки; 7 — пневмоцилиндр продольной подачи; 8 — гидростанция; 9 — распределительная коробка; 10 — пневмоцилиндр поперечной подачи; 11 — гидропанель.

Перспективы развития процессов обработки деталей класса «круглые стержни». Главной останется обработка на центрах. Для вращения вала будут больше применяться торцовые поводки, которые дают возможность обработать вал с одной установкой. В ряде случаев при обработке гладких валов в серийном и крупносерийном производстве будет применяться бесцентрово-токарная и бесцентрово-шлифовальная обработка.

При токарной обработке ступенчатых валов в крупносерийном и массовом производстве получит дальнейшее развитие гидрокопировальная обработка. В силу преимуществ этого способа уже появились многошпиндельные гидрокопировальные станки-автоматы. Будет развиваться дальше обработка на токарных станках с программным управлением.

Будут также развиваться переналаживаемые автоматические линии из специальных станков, встраиваемых в автоматические линии, линии из модернизированных станков общего назначения и из станков с программным управлением. Управление автоматикой будет осуществляться с помощью бесконтактных датчиков, повышающих надежность системы.

Обработку небольших ступенчатых нежестких валиков можно полностью автоматизировать, немного модернизировав универсальные токарные станки. Станок, модернизированный в Киевском политехническом институте, показан на рис. 62. В станке автоматизированы продольное и поперечное движение суппорта, зажим и разжим детали. Выпуск деталей со станка при такой модернизации повышается в 2,5—3 раза (качество обработки улучшается).

Для транспортировки малых и средних валов в автоматических линиях перспективен пневматический транспорт.

При обработке шлифованием в серийном производстве будет развиваться автоматизированная обработка на круглошлифовальных станках, работающих по способу «врезного шлифования», при стабилизации сил резания и с применением устройств для активного контроля

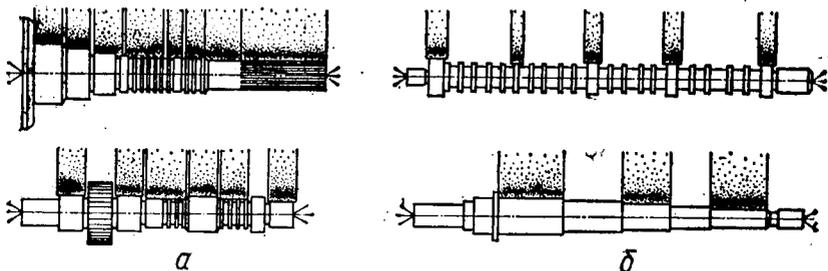


Рис. 63. Шлифование:
 а — профилированными кругами; б — многокитневое.

размеров. В массовом производстве будут шире применяться многокитневые станки и шлифование профилированными кругами (рис. 63).

Для точных валов будут развиваться способы отделочной обработки.

Для фрезерования шпоночных пазов будут применяться шпоночно-фрезерные автоматы, работающие немерными фрезами.

§ 10. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ПОЛЫЕ ЦИЛИНДРЫ»

Общие сведения. Детали этого класса применяются очень часто и трудоемкость изготовления их в некоторых машинах составляет 14—20 % общей трудоемкости механической обработки. Поэтому внедрение производительной технологии при обработке таких деталей имеет большое значение.

Некоторые конструктивные формы деталей класса «полые цилиндры» показаны на рис. 64. Размеры таких деталей колеблются в широких пределах — от 8—10 мм до 200 мм по внутреннему диаметру.

Главные технологические задачи — это достижение концентричности внутренних и наружных поверхностей втулок и перпендикулярности торцов к оси (для втулок, соприкасающихся с вращающимися деталями).

Технические условия на изготовление полых цилиндров приведены в табл. 26.

Материалы для полых цилиндров применяют самые разнообразные: чугун, сталь, бронзу, латунь, специальные сплавы, биметалл и

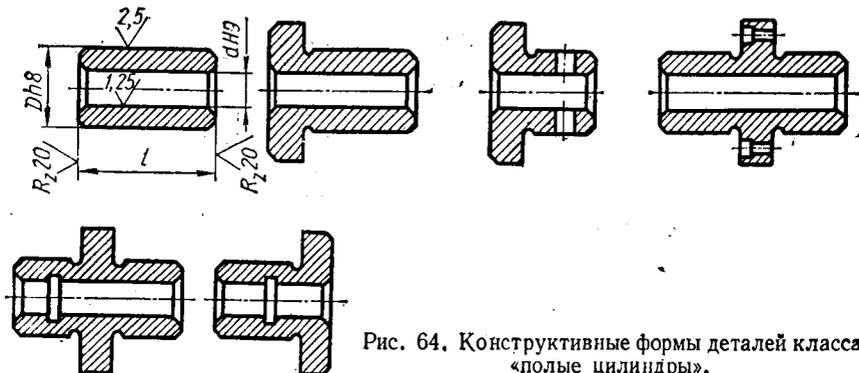


Рис. 64. Конструктивные формы деталей класса «полые цилиндры».

Таблица 26. Технические условия на изготовление полых цилиндров

Условие	Допускаемое отклонение
Точность диаметров	6—9-й класс
Шероховатость внутренней поверхности для отверстий 7—9-го класса	1,25—0,32 мкм
То же в деталях гидравлических систем	0,32—0,08 мкм
Шероховатость наружной поверхности при посадках 7—9-го класса	2,5—0,63 мкм
Радиальное биение наружной поверхности	0,01—0,03 мм
Торцевое биение (для втулок, соприкасающихся с вращающимися деталями)	0,015—0,020 мм на радиусе 50 мм
Некруглость и отклонения профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность, седлообразность и пр.)	В пределах поля допуска
То же для точных втулок (7-й класс)	В пределах половины поля допуска

металлокерамику, в зависимости от назначения и условий работы детали в конструкции.

Заготовки можно отрезать от прокатанных прутков или труб (сталь, латунь), от литых прутков небольшой длины (чугун, бронза). Можно применять штучные заготовки — литые в землю или в кокиль (чугун, бронза, специальные сплавы), штучные кованные (сталь) или штампованные (сталь, бронза). Кроме того, втулки можно свертывать из отрезков полосы (латунь, бронза, биметаллическая лента), прессовать из порошков (металлокерамика) и пластических масс.

Припуски на обработку получают наибольшие на литых прутках. Величина припуска составляет от 3—5 мм на сторону для прутков малых диаметров (до 30—50 мм) и от 5 до 8 мм для прутков больших диаметров. Обработка этих заготовок наименее экономична (коэффициент использования металла 0,25—0,3). В полых отливках, полученных при формовке по металлическим моделям при литье в землю, припуски на обработку уменьшают на 30—40 %, а коэффициент использования металла повышается до 0,4—0,5.

При отливке в кокиль можно получить припуск 1,5—2 мм на сторону и коэффициент использования металла 0,5—0,6. При использовании других прогрессивных способов можно получить примерно такие же припуски на обработку и высокие коэффициенты использования материала.

При выборе заготовки из проката руководствуются соображениями о припусках для валов.

Существуют три способа достижения концентричности внутренних и наружных поверхностей:

- 1) обработка поверхностей в одной установке заготовки;
- 2) обработка сначала наружной поверхности, затем отверстия при установке детали по наружной поверхности;

- 3) обработка сначала отверстия, затем наружной поверхности при установке детали по отверстию.

Выбор способа обработки зависит от вида деталей, применяемого оборудования и частных технологических задач. Например, первый способ можно применять на токарных станках, на револьверных станках и автоматах при обработке деталей из прокатных прутков. Второй способ применяют при обработке тяжелых деталей (например, маховиков) на карусельных станках. При этом устраняются тяжелые оправки, которые потребовались бы, если бы обрабатывались такие детали по третьему способу на токарных станках, однако точность обработки меньшая. В большинстве случаев применяют третий способ. Он дает наибольшую concentricity внутренней и наружной поверхностей. Этот способ применяют и при обработке точных тяжелых деталей, несмотря на то что требуются тяжелые оправки (например, при обработке барабанов многошпиндельных автоматов).

Основные операции при обработке наружных поверхностей втулок — токарные, шлифовальные, при обработке отверстий — сверлильные, расточные, шлифовальные, иногда протяжные и прошивочные.

Второстепенные операции — это сверление мелких смазочных отверстий, снятие фасок, зенкование, фрезерование лысок, пазов, уступов и др.

Погрешности установки возникают:

1) из-за неправильной установки заготовки или детали в зажимном устройстве, вследствие чего происходят перекосы и деформации деталей;

2) из-за смены баз при прохождении детали по операциям.

Погрешности обработки возникают:

1) из-за недостаточной балансировки зажимного устройства (патрона, планшайбы и пр.);

2) неправильного вращения шпинделя станка;

3) неравномерного распределения припусков на заготовке;

4) неравномерной твердости и неоднородности материала;

5) погрешностей формы и установки инструментов.

В результате действия этих факторов получаются такие погрешности, как разбивка, конусообразность и овальность отверстия, увод его оси и биение наружной поверхности деталей относительно оси. Чтобы устранить эти погрешности на деталях, при наладке производства необходимо последовательно исключать причины возникновения погрешностей, влияющих на качество детали.

Применяемое оборудование. Для обработки деталей из прутков диаметром до 30—50 мм применяют револьверные станки и одношпиндельные автоматы.

Для деталей из прутка диаметром от 40 до 60 мм применяют на первых операциях одношпиндельные автоматы (при достаточной программе) или универсально-токарные станки (при малой программе).

Детали диаметром свыше 60 мм желательно обрабатывать из цельнотянутых труб на универсально-токарных станках или многошпиндельных автоматах. Втулки, получаемые из литых прутков, обрабатывают на универсальных станках в патронах и на центрах.

Штучные заготовки можно обрабатывать на сверлильных, универсально-токарных станках, токарных полуавтоматах и автоматах для

Таблица 27. Средние режимы обработки деталей класса «полые цилиндры»

Переход	Скорость резания, м/мин	Подача; мм/об
Сверление отверстий в целой заготовке	22—25	0,25
Рассверливание отверстий в полый заготовке	30	0,25
Зенкерование	15	1,0
Развертывание черновое	12	0,6
Развертывание чистовое	6	0,6
Растачивание резцом черновое	55—65	0,36
Растачивание резцом чистовое	60	0,36
Шлифование внутреннее предварительное	27 *	12,0
Шлифование внутреннее чистовое	36 *	10,0
Протягивание отверстий	7	—
Подрезание торца черновое	70	0,5
Подрезание торца чистовое	174	0,41
Обтачивание черновое	105	0,4
Обтачивание чистовое	120	0,15
Шлифование наружное предварительное	24 *	14,0
Шлифование чистовое	30 *	10,0

* Скорость вращения детали.

штучных заготовок (в полуавтоматах с автоматическими загрузочно-разгрузочными устройствами).

Средние режимы резания при обработке чугунных и стальных заготовок приведены в табл. 27.

Типовые процессы обработки деталей класса «полые цилиндры». Типичные детали этого класса по размерам можно разбить на две группы: одна — с наружными диаметрами до 50—60 мм, вторая — с диаметрами 60—150 мм. На рис. 21, а показана схема типового процесса обработки втулок всех размеров на токарном станке по третьему способу достижения концентричности внутренней и наружной поверхностей. Для сравнения на рис. 65 представлены типовые схемы процессов обработки простых втулок из прутка на револьверном станке (в серийном и крупносерийном производстве) и на многошпиндельном автомате (в крупносерийном и массовом производстве) по первому способу достижения концентричности. После отрезания втулки от прутка последующие операции по снятию фаски и подрезке торца выполняются на токарном станке.

Втулки из штучных заготовок, отлитые в кокиль, обрабатывают на сверлильных станках, прошивных прессах (крупные втулки — на протяжных станках), многолезцовых станках (при ступенчатой наружной поверхности) и многошпиндельных полуавтоматах.

Первые операции при обработке втулок с внутренними ступенчатыми поверхностями и выточками следует выполнять на токарно-револьверном станке. Втулки второй группы с фланцем и буртиками следует обрабатывать на универсальном токарном станке — в единичном и мелкосерийном производстве, на многолезцовом токарном станке —

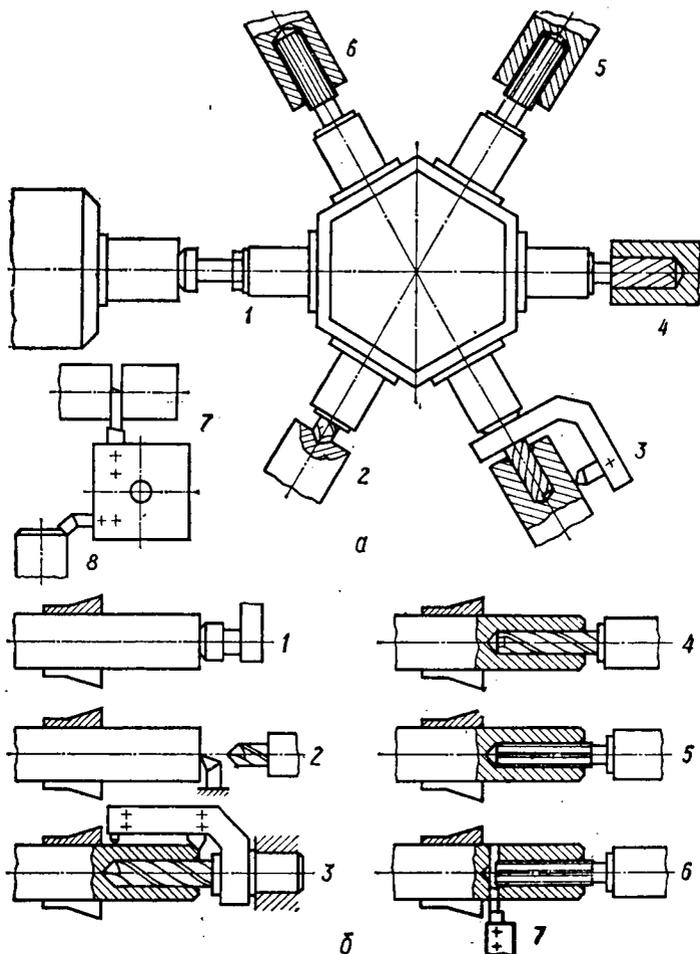


Рис. 65. Схемы обработки втулок:

a — на револьверном станке; *б* — на многошпиндельном автомате. Пере­коды: 1 — установка прутка до упора; 2 — подрезание торца на авто­мате и центрование; 3 — соответственно обточка наружной поверхно­сти, сверление отверстия; снятие наружной фаски; 4 — зенкерование; 5 — черновое развертывание; 6 — чистовое развертывание; 7 — отре­зание детали.

в серийном и крупносерийном производстве, на многошпиндельном полуавтомате — в массовом производстве.

Обработка втулок со шлицами. Технические условия на изготов­ление шлицевых втулок соответствуют техническим условиям на изго­товление шлицевых валов (табл. 20), но относятся к сопрягаемым с валом элементом конструкции (на валу — выступ, на втулке — впадины).

Сверлильная и черновая токарная обработка отверстия и наруж­ной поверхности производится обычным способом. Шлицевое отверстие в большинстве случаев получают протягиванием (до диаметра 100— 120 мм) цельной протяжкой.

Таблица 28. Посадки для шлицевых оправок

Посадочный размер	Посадки части оправки		Примечание
	рабочей	направляющей	
Центрирующий диаметр	<i>m6</i> (I тип) <i>j6</i> (II тип)	<i>c8</i> (I тип)	Конструкция оправок по рис. 66
Наружный диаметр	<i>b</i> II (I и II типы)	<i>bII</i> (I тип)	
Ширина выступов	<i>j6</i> (I и II типы)	<i>f7</i> (I тип)	

Шлицы втулок больших диаметров протягиваются шпоночными (плоскими) протяжками с закреплением детали в поворотном приспособлении. Менее производителен и точен способ долбления шлицев на долбежном станке в поворотном приспособлении.

После протягивания выполняют чистовую обработку наружной поверхности и торцов втулки на токарном станке при установке детали на шлицевой оправке. Посадки для шлицевых оправок приведены в табл. 28. Оправки различных типов показаны на рис. 66.

Для повышения износостойкости шлицевых втулок применяют термообработку. Однако после термообработки отверстие деформируется и на поверхности появляется окалина.

Чтобы получить отверстия с необходимой точностью, применяют различные способы их исправления (дорнование, электрохимическое калибрование, шлифование, протягивание и прошивание). При дорновании отверстия проглаживают специальным инструментом — дорном (рис. 67).

Электрохимическое калибрование происходит при пропускании постоянного тока через 15—20 %-й раствор хлористого натрия. Анодом при этом служит специальный инструмент, выполненный по форме отверстия, а катодом — обрабатываемая деталь. Процесс основан на явлении анодного растворения металла при прохождении электрического тока через электролит.

Шлифование точных шлицев выполняют по схеме, показанной на рис. 68. Способ весьма трудоемок, требует специального оборудования и применяется для получения точных деталей в единичном и мелкосерийном производстве.

Хорошие результаты получаются при протягивании (или прошивании под прессом) сборными протяжками (прошивками) с насадными кольцами из твердых сплавов ВК6М и ВК10М цельными протяжками из быстрорежущих сталей Р9К10, Р14Ф4. Твердосплавные протяжки применяются для деталей, упрочненных до твердости выше HRC 45, быстрорежущие — для деталей меньшей твер-

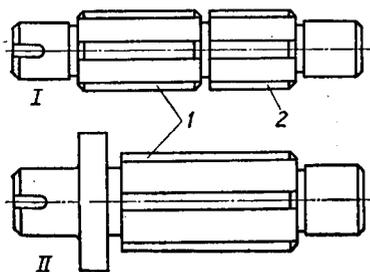


Рис. 66. Шлицевые оправки:
1 — рабочая часть; 2 — направляющая часть; I, II — типы.

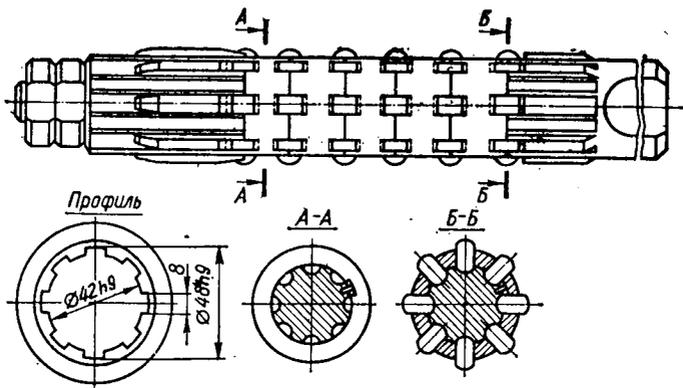


Рис. 67. Сборный дорн для калибрования шлицев.

дости. Скорость протягивания 2—3 м/мин. Оптимальный припуск под протягивание 0,1—0,12 мм.

Особенности обработки тонкостенных цилиндров высокой точности (гильз). Представителями деталей этой группы могут быть тонкостенные чугунные гильзы автомобильных и тракторных двигателей и стальные цилиндры гидросистем. Гильзы тракторных двигателей (рис. 69) изготавливают из чугуна, который по механическим свойствам должен быть не хуже чугуна СЧ21-40 (ГОСТ 1412—79). Твердость внутренней рабочей поверхности гильзы после закалки с нагревом ТВЧ должна быть не ниже *HRC* 40, шероховатость после обработки — 0,32—0,16 мкм, овальность и конусообразность — не больше 0,02 мм.

Типовой маршрут обработки гильз: предварительное растачивание; черновое и чистовое обтачивание; закалка и отпуск, чистовое растачивание; предварительное хонингование; окончательное хонингование.

Основная трудность изготовления гильз состоит в том, что они легко деформируются. Поэтому на ряде операций применяют приспособления с зажимами не по наружной поверхности цилиндра, а по торцу (рис. 70). Не допускается правка гильз, если некруглость выходит за пределы допустимой (0,03 мм); правка изменяет внутренние напряжения в металле, и после релаксации их некруглость появляется снова. Поэтому особое внимание необходимо уделять обработке установочных поверхностей гильзы, точному положению их относительно оси гильзы, точному совпадению оси хона с осью гильзы, подбору режимов хонингования.

Стальные тонкостенные цилиндры гидросистем изготавливают из горячекатаных труб (сталь 40Х или 45Х). Толщина стенок обработанных деталей составляет 4,5—9 мм. Внутренняя поверхность цилиндров обрабатывается по 6-му квалитету с шероховатостью 0,32—0,1 мкм. Наилуч-

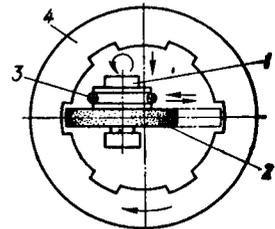


Рис. 68. Схема шлифования шлицев:

- 1 — шпиндель головки
- 2 — шлифовальный круг
- 3 — приводной ремень
- 4 — обрабатываемая деталь.

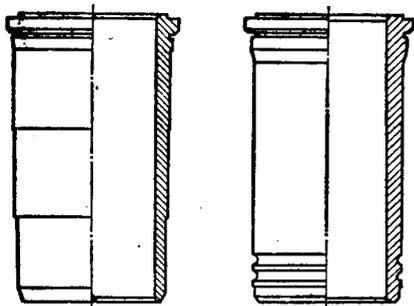


Рис. 69. Гильзы тракторных двигателей.

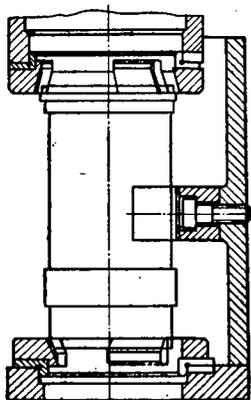


Рис. 70. Закрепление гильзы по торцу.

известно пока мало. Схема обработки катка трактора в автоматической линии *, составленной из новых станков, показана на рис. 72. Некоторые линии изготовлены на заводах из модернизированных станков общего назначения. Схема обработки чугунной втулки в переналаживаемой автоматической линии **, составленной из таких станков, показана на рис. 73.

Схема обработки гладких втулок в диапазоне наружных диаметров 25—60 мм при длине 40—90 мм в переналаживаемой автоматической линии, составленной из станков общего назначения, вибробункера

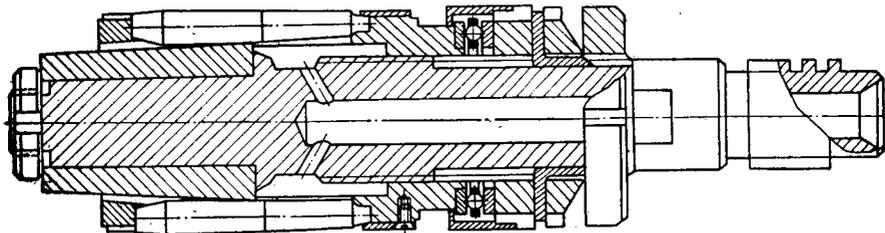


Рис. 71. Роликовая раскатка для отделки цилиндров.

* Линия разработана ЭНИМСом.

** Разработана и изготовлена Уральским турбомоторным заводом.

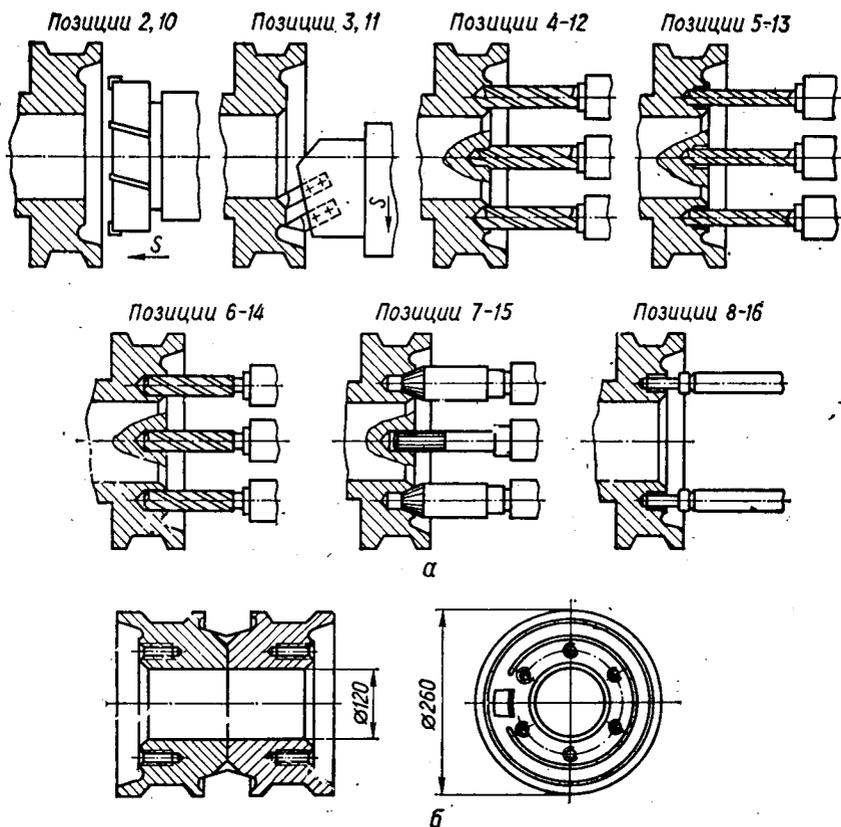


Рис. 72. Схема обработки катка трактора в автоматической линии.

и двух контрольных автоматов, была показана на рис. 21, б. Схема переналаживаемой автоматической линии для обработки втулок с использованием самых простых средств автоматизации показана на рис. 74. Для перемещения втулок между станками и контрольными автоматами применены лотки с регулируемой шириной рабочей части. Втулки движутся по лоткам под действием собственного веса. Чтобы создать необходимую разность уровней станков, один из них и вибробункер подняты на фундамент высотой 450 мм. Чтобы избежать изготовления поворотного устройства (кантователя) для втулок, станки поставлены так, что патроны передних бабок находятся один против другого.

Как можно видеть из приведенных схем, основными принципами построения автоматических линий для обработки полых цилиндров являются следующие: наибольшая возможная концентрация обработки (для уменьшения количества обрудования), наименьшее количество автоматизирующих узлов (для удешевления автоматической системы), автоматический контроль деталей между операциями, несложная переналадка системы при обработке деталей разного размера.

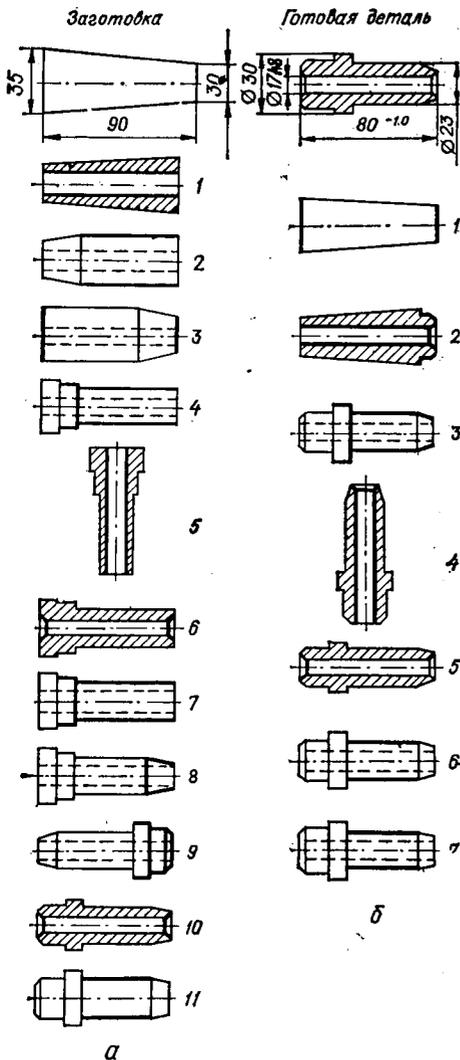


Рис. 73. Схема обработки чугунной втулки:

а — на поточной линии: 1 — сверление; 2 — обтачивание; 3 — подрезание торца; 4 — обтачивание ступеней; 5 — шлифование; 6 — центрование; 7 — чистовое обтачивание ступеней; 8 — обтачивание конуса; 9 — чистовое обтачивание другого конуса; 10 — чистовое центрование; 11 — шлифование; б — на переналаживаемой автоматической линии: 1 — подрезание торцов; 2 — сверление и обтачивание короткого конца; 3 — обтачивание ступеней и конуса; 4 — шлифование; 5 — центрование; 6 — чистовое обтачивание цилиндра; 7 — шлифование.

Определение трудоемкости, станкоемкости и себестоимости обработки полых цилиндров. Наиболее вероятное машинное время по отдельным операциям и общее калькуляционное время обработки полого цилиндра можно рассчитать на основе приложений 1 и 2, 3.

Для втулки размерами $l \times D \times d$ (рис. 64) машинное время определяют следующим образом (заготовка — литье в кокиль, материал — чугун, производство — серийное):

Зенкерование отверстия диаметром d $t_{m_1} = K_1 d l$

Развертывание отверстия черновое $t_{m_2} = K_2 d l$

Развертывание отверстия чистовое $t_{m_3} = K_3 d l$

Наружная обработка черновая и чистовая по наружному диаметру D $t_{m_4} = 2K_4 D' l$

Подрезание двух торцов черновое и чистовое $t_{m_5} = 2K_5 (D^2 - d^2)$

Суммарное машинное время обработки втулки определяют по формуле

$$\sum_1^5 t_{m_i} = l \left(d \sum_1^3 K_i + 2K_4 D' \right) + 2K_5 (D^2 - d^2). \quad (69)$$

Пример. Даны: (рис. 64) втулка ($D = 60h10$, $d = 40H9$, $l = 50$ мм), заготовка ($D_4' = 66$ мм, $d' = 36$ мм, $l' = 56$ мм).

Из приложения 2 для соответствующих переходов обработки находим величины коэффициентов K_i , округляя последнюю цифру.

$$K_1 = 0,00021 \quad K_4 = 0,000075 + 0,000175 = 0,00025$$

$$K_2 = 0,00044 \quad K_5 = 0,000022 + 0,000011 = 0,000033$$

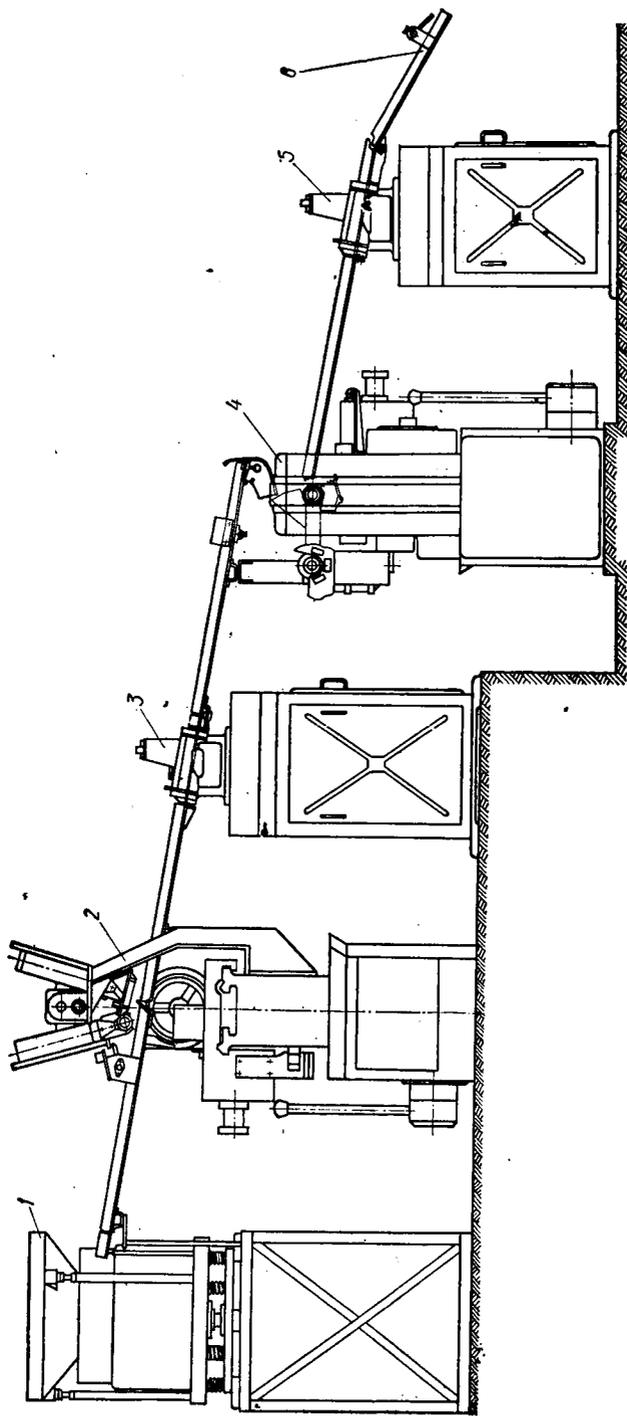


Рис. 74. Схема переналаживаемой автоматической линии для обработки втулок:

- 1 — вибропитатель; 2 — автоматизированный токарный станок для обработки наружной поверхности; 3 — контрольный автомат для проверки отверстия; 4 — автоматизированный токарный станок для обработки наружной поверхности; 5 — контрольный автомат для проверки наружной поверхности; 6 — сборник деталей.

Таблица 29. Расчет себестоимости втулок при различных способах обработки

Показатель	Обозначение	Величина при обработке			
		на токарных станках	на револьверных станках	на многошпиндельных полуавтоматах	на автоматической линии
Чистый вес детали, кг	P	0,616	0,616	0,616	0,616
Стоимость 1 кг металла, руб.	c	0,16	0,16	0,20	0,20
Коэффициент использования металла	η	0,60	0,60	0,66	0,66
Штучное время обработки, мин	$t_{ш}$	5,12	3,06	1,75	1,04
Калькуляционное время, мин	t_k	11,0	4,73	—	—
Минутная заработная плата, руб.	$З$	0,012	0,01	0,01	0,012
Коэффициент накладных расходов	$1 + q$	2,5	3	4	5
Цеховая себестоимость, руб.	C	0,479	0,291	0,256	0,248

$K_3 = 0,00088$ (K_4 и K_5 — суммированные коэффициенты для черновой и чистовой обработки).

$$\sum_{i=1}^3 K_i = 0,00153$$

Подставив размеры заготовки и значения коэффициентов в формулу (69), получим суммарное машинное время обработки:

$$\sum_{i=1}^5 t_{m_i} = 56(38 \cdot 0,00153 + 2 \cdot 0,00025 \cdot 66) + 2 \cdot 0,000033(66^2 - 36^2) = 5,123 \text{ мин.}$$

В соответствии с приложением 3 коэффициент калькуляционного времени ψ_k при обработке на токарных станках равен 2,14.

Калькуляционное время обработки втулки

$$t_k = \psi_k \sum_{i=1}^5 t_{m_i} = 2,14 \cdot 5,12 \approx 11 \text{ мин.}$$

Себестоимость втулки определяют по формуле (21) при следующих значениях расчетных величин:

$$C = 0,16 \frac{\text{руб.}}{\text{кг}}; \quad P = 0,616 \text{ кг}; \quad \eta = 0,6; \quad З = 0,012 \frac{\text{руб.}}{\text{мин}}; \quad q = 1,6.$$

Подставив в формулу (21) значения принятых величин, получим себестоимость втулки:

$$C = \frac{0,16 \cdot 0,616}{0,6} + 0,012 \cdot 11,0 \cdot 2,5 = 0,479 \text{ руб.}$$

Аналогично можно рассчитать себестоимость такой же втулки при других способах обработки. Расчет себестоимости втулок при различных способах обработки и соответствующих изменениях величин, входящих в формулу (21), приведен в табл. 29.

Как видно из табл. 29, стоимость 1 кг металла возрастает при подготовке заготовок для обработки на многошпиндельном полуавтомате и на автоматической линии, так как требуются более точные заготовки с равномерными припусками. Коэффициент использования металла при этом повышается, так как уменьшается количество отходов.

Штучное время при обработке на револьверных станках меньше, чем при обработке на токарных станках, вследствие уменьшения вспомогательного времени и некоторого совмещения операций. При обработке на полуавтоматах и на автоматической линии штучное время обработки снижается вследствие уменьшения вспомогательного времени и концентрации обработки.

Заработная плата оператора несколько снижается при обработке на револьверных станках и полуавтоматах и повышается при обработке на автоматической линии, так как для обслуживания линии требуется оператор высокой квалификации. Накладные расходы возрастают по мере увеличения сложности оборудования, наладки и обслуживания. Себестоимость втулки, обработанной на полуавтомате и на автоматической линии, ниже почти в 1,9 раза, чем при обработке на токарном станке, и в 1,7 раза ниже, чем при обработке на револьверном станке. Это свидетельствует о целесообразности применения для этого случая полуавтоматов и автоматизации станков общего назначения. Однако это соображение должно быть обосновано еще и расчетом общей экономической эффективности.

Сравним сроки окупаемости капитальных вложений при обработке втулок на револьверном станке, многошпиндельном полуавтомате и автоматической линии, составленной из двух токарных станков общего назначения (табл. 29). Положим, нужно изготовить около 120 тысяч втулок в год. При работе в две смены, коэффициенте использования оборудования 0,75 и штучном времени 1,75 мин (табл. 29) для этого наиболее подходит многошпиндельный полуавтомат, производительность которого при заданных условиях

$$\Pi = \frac{60\eta\Phi}{t_{ш}} = \frac{4600 \cdot 60 \cdot 0,75}{1,75} \approx 118\,000 \text{ шт./год,}$$

где Φ — количество рабочих часов в году; $\eta = 0,75$ — коэффициент использования рабочего времени; $t_{ш}$ — штучное время по табл. 29.

Это количество деталей можно обработать на двух револьверных станках. На автоматической линии можно изготовить в год в 1,5 раза больше втулок, чем на полуавтомате.

Стоимость оборудования

Два револьверных станка	$Q_1 = 8000$ руб.
Многошпиндельный полуавтомат	$Q_2 = 10\,000$ руб.
Автоматическая линия из двух токарных станков (станки — 2000 руб., автоматизация 10 000 руб.)	$Q_3 = 12\,000$ руб.

Дополнительные затраты при замене оборудования

$$\begin{aligned} Z_1 &= Q_2 - Q_1 = 2000 \text{ руб.} \\ Z_2 &= Q_3 - Q_2 = 2000 \text{ руб.} \\ Z_3 &= Q_3 - Q_1 = 4000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Годовая себестоимость заданной программы

На револьверных станках	$C_1 = 0,291 \cdot 118\,000 = 34\,700$ руб.
На полуавтомате	$C_2 = 0,256 \cdot 118\,000 = 30\,200$ руб.
На автоматической линии	$C_3 = 0,248 \cdot 118\,000 = 29\,200$ руб.

Возможная годовая экономия

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= C_1 - C_2 = 4500 \text{ руб.} \\ \mathcal{E}_2 &= C_2 - C_3 = 1000 \text{ руб.} \\ \mathcal{E}_3 &= C_1 - C_3 = 5500 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Сроки окупаемости

- 1) при замене револьверных станков полуавтоматом

$$T_{ок1} = \frac{Q_2 - Q_1}{C_1 - C_2} = \frac{2000}{4550} \approx 5 \text{ мес.};$$

- 2) при замене полуавтомата автоматической линией

$$T_{ок2} = \frac{Q_3 - Q_2}{C_2 - C_3} = \frac{2000}{1000} \approx 2 \text{ года};$$

В) при замене револьверных станков автоматической линией

$$T_{\text{ок}_3} = \frac{Q_3 - Q_1}{C_1 - C_3} = \frac{4000}{5500} \approx 9 \text{ мес.}$$

Сравнивая сроки окупаемости оборудования в рассматриваемых вариантах и цеховую себестоимость одной детали (табл. 29), можно сделать вывод, что при первой замене срок окупаемости небольшой и себестоимость детали снижается. При второй замене срок окупаемости больший, но в пределах установленных норм; себестоимость детали также понижается. При третьей замене срок окупаемости небольшой и себестоимость детали значительно снижается. Кроме того, линия загружена не полностью и на ней можно изготовить некоторое количество других деталей.

Таким образом, при заданном количестве выпуска наиболее выгоден вариант обработки втулок на относительно простой автоматической линии, составленной из станков общего назначения.

Перспективы развития процессов обработки деталей класса «полые цилиндры». Для того чтобы повысить коэффициент использования материала, полые цилиндры следует изготавливать преимущественно из штучных заготовок. Поэтому в заготовительной фазе развиваются процессы, приближающие форму заготовки к форме готовых деталей. К ним относятся: штампование стальных заготовок на ковочных машинах, штампование на прессах полых заготовок из полужидкого чугуна и бронзы, изготовление втулок из металлических порошков (металлокерамика), изготовление стальных втулок из толстостенных труб. Заготовки, полученные таким путем, требуют минимальной механической обработки и дают наиболее высокий коэффициент использования металла. Механическая обработка будет развиваться на автоматах, полуавтоматах и переналаживаемых автоматических линиях. Для получения точных отверстий следует применять способы раскатывания, внутреннего шлифования и хонингования с автоматическим контролем размеров.

Перспективны выглаживающие протяжки на первых операциях при обработке заготовок, полученных из толстостенных труб. При автоматизации изготовления типичных втулок наиболее благоприятные экономические и технические результаты должны получаться при централизованном изготовлении втулок на специализированных предприятиях. Такую специализацию можно осуществить как в отраслевом, так и в межотраслевом масштабе.

Для точных машин будет дальше расширяться область применения прецизионных шариковых, роликовых, игольчатых подшипников, будут применяться также подшипники скольжения (главным образом в виде биметаллических вкладышей).

§11. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ДИСКИ»

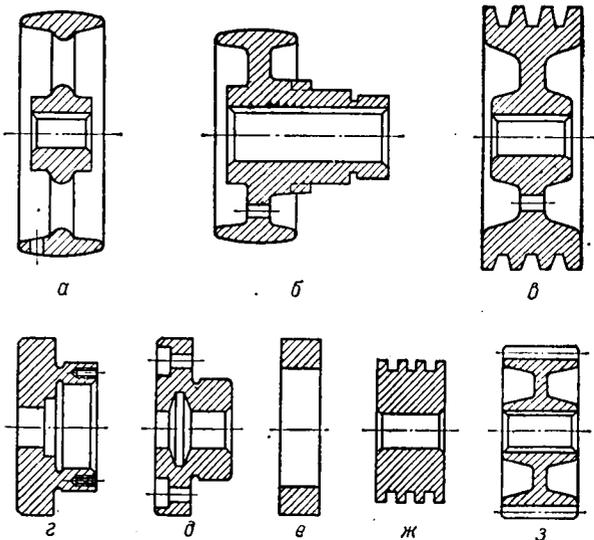
Общие сведения. К деталям класса «диски» относятся шкивы разнообразных форм, цилиндрические и червячные зубчатые колеса, тарельчатые конические зубчатые колеса, фланцы, крышки шариковых и роликоподшипников, кольца, поршни гидро- и пневмоприводов и т. п. (рис. 75).

Детали этого класса отличаются от деталей класса «полые цилиндры» отношением длины l цилиндрической части к наружному диамет-

Рис. 75. Детали класса «диски»:

а, б, в — шкивы; г, д — крышки подшипников; е — кольцо; ж — поршень насоса; з — зубчатое колесо.

ру d : у втулок $\frac{l}{d} \geq \geq 0,5 \div 2,5$, у дисков $\frac{l}{d} < 0,5$.



Технологические задачи — те же, что и при обработке втулок: достижение concentричности внутренних и наружных цилиндрических поверхностей и перпендикулярности торцов к оси детали. Кроме того, в ряде случаев необходимо получить точные внутренние и наружные фасонные, зубчатые и криволинейные поверхности.

Технические условия на изготовление различаются в зависимости от вида и назначения деталей в довольно широком диапазоне величин (о них написано при рассмотрении типовых процессов обработки деталей различных подклассов).

Материал. Шкивы, фланцы, поршни изготавливают большей частью из чугуна СЧ15-32 (ГОСТ 1412—79). Шкивы изготавливают также из алюминия и прессованного текстолита или бакелита с наполнителем, сварные шкивы — из стали; обод — из Ст3, ступица — из стали 45.

Зубчатые колеса изготавливают из разнообразных сталей, реже — из чугуна; приводные шестерни изготавливают из текстолита, червячные колеса — из бронзы, биметалла и антифрикционного чугуна, поршневые кольца — из специального чугуна и стальной ленты.

Заготовки в большинстве случаев применяют штучные — литые, кованные, штампованные; мелкие шестерни диаметром до 50—60 мм изготавливают также из прутка.

Припуски на обработку зависят от способа получения заготовки. Для литых дисков среднего размера (диаметров 250—350 мм) при литье в песчаные формы припуски получают порядка 5—6 мм на сторону, при литье в кокиль — 2—3 мм. Для штампованных — в пределах 2—4 мм на сторону.

Технологические базы. В большинстве случаев на первой операции заготовки базируются по необработанной наружной цилиндрической поверхности; на дальнейших операциях — по обработанному отверстию и торцу. Иногда (для крупных деталей со ступицей), чтобы получить уравнированную (без разностенности) ступицу, на первой операции базируют заготовку по необработанному отверстию в ступице и обрабатывают поверхности с наибольшим диаметром. Затем, базируя

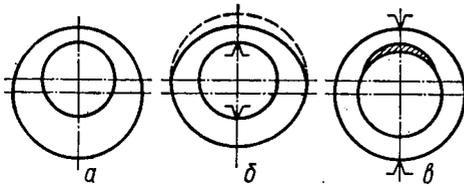


Рис. 76. Возможные погрешности формы деталей из-за погрешностей формы заготовок:

a — смещение оси отверстия относительно оси наружной поверхности; *b* — необработанные места наружной поверхности при центрировании по отверстию; *v* — необработанные места в отверстии при центрировании по наружной поверхности.

ее по наружному диаметру, обрабатывают центральное отверстие. Если нужно получить малое биение по наружной поверхности, то заготовку обрабатывают еще раз, устанавливая ее по обработанному отверстию.

Заготовки при обработке внутренних поверхностей закрепляются в трех- и четырехкулачковых патронах; при обточке наружных поверхностей и торцов — на нормальных оправках. Выполняя специальные операции (нарезание и шлифование зубьев), заготовки устанавливают на специальных оправках; при обработке на сверлильных, фрезерных, протяжных и прочих станках заготовки устанавливают в универсальных и специальных приспособлениях.

Основные операции при обработке дисков (до выполнения таких специальных операций, как нарезание зубьев) состоят в получении точного центрального отверстия, шпоночных или шлицевых канавок, точной наружной поверхности и торцов, перпендикулярных к оси.

Второстепенные операции — это сверление мелких смазочных отверстий, нарезание в них резьбы, иногда зенкование отверстий под резьбу или под головки винтов, изготовление мелких канавок, выточек, фасок, фрезерование лысок и т. п.

Погрешности установки на первых операциях возникают от погрешностей формы заготовок. Например, при смещении центрального отверстия относительно наружного диаметра в ковальной или литой заготовке могут оставаться черновины на наружной или внутренней поверхности (рис. 76) в зависимости от того, какую поверхность принимают в качестве черновой базы.

При обработке на оправках погрешности возникают из-за неточностей оправки (смещение оси наружной поверхности относительно центральной линии). При обработке на центрах погрешности возникают из-за неточностей центровых гнезд, из-за неточности установки задней бабки или ее пиноли. Во время обработки в патроне погрешности возникают из-за неправильного зажатия в кулачках, перекоса детали при установке.

Погрешности обработки возникают из-за неуравновешенности патрона или зажимного устройства, неточности вращения шпинделя станка и вращающегося центра задней бабки, отжима суппорта, деформации инструмента, теплового расширения инструментов и деталей узла шпинделя, износа инструмента, износа направляющих суппорта и станины, неравномерной твердости материала, неравномерного припуска. Средние режимы обработки приведены в прил. 10.

Типовые процессы обработки шкивов. Обработку шкивов средних размеров (диаметром 200—400 мм) производят большей частью на токарных, в крупносерийном производстве — на револьверных станках. Большие шкивы и маховики обрабатывают на карусельных станках.

Таблица 30. Типовой процесс обработки шкивов

Номер операции	Операция	Станок	Технологическая база
1	Расточка отверстия с припуском под протягивание и подрезка торца	Сверлильный или токарный	Необработанная поверхность обода или ступица
2	Подрезка второго торца	Сверлильный	Отверстие и торец
3	Протягивание цилиндрического отверстия	Протяжный	Торец
4	Протягивание шпоночной канавки	То же	Отверстие и торец
5	Черновая обработка наружного диаметра и торцов обода (для шкива по рис. 75, б — обточка ступицы; для шкива по рис. 75, в — выточка клиновидных канавок)	Токарный	Отверстие
6	Чистовая обточка наружного диаметра (для шкива по рис. 75, а — по копиру)	Многорезцовый токарный	»
7	Сверление смазочных отверстий и нарезание резьбы (если требуется по чертежу)	Токарный	»
8	Сверление смазочных отверстий и нарезание резьбы (если требуется по чертежу)	Сверлильный	Торец
9	Балансировка и высверливание отверстий для устранения дисбаланса	Балансировочный	Отверстие
9	Шлифование ступиц у шкивов по рис. 75, б (если требуется по чертежу)	Круглошлифовальный	»
10	Полирование ступицы шкивов по рис. 75, б (если требуется по чертежу)	Токарный	»

Примечание. Заготовка — отливка и кокиль; материал — чугун СЧ15-32 ГОСТ 1412—79, наружный диаметр заготовки 200—300 мм, диаметр базового отверстия 30—40 мм.

Чаще всего шкивы обрабатывают по всему контуру для лучшего уравновешивания и получения хорошего внешнего вида.

При формовке по металлическим моделям на формовочных машинах и проверке литья шаблонами, а также при отливке заготовки в кокиль можно обойтись без обработки внутренних поверхностей, но с обязательной статической или динамической балансировкой.

Технические условия на изготовление шкивов диаметром 250—300 мм (материал — чугун, алюминий) следующие:

Точность центрального отверстия	7—9-й квалитет
Радиальное биение по наружной поверхности обода	0,03—0,04 мм
Торцовое биение ступицы	0,02—0,03 на радиусе 50 мм
Торцовое биение обода	0,04—0,06 мм на радиусе 250 мм
Шероховатость поверхности отверстия	1,25—0,63 мкм
Шероховатость поверхности обода	Rz 20→Ra 2,5
Непараллельность шпоночной канавки оси вращения	0,03 на длине 100 мм

Технологические базы — центральное отверстие и обработанный торец. Типовой технологический процесс обработки шкивов по рис. 75 в серийном производстве приведен в табл. 33.

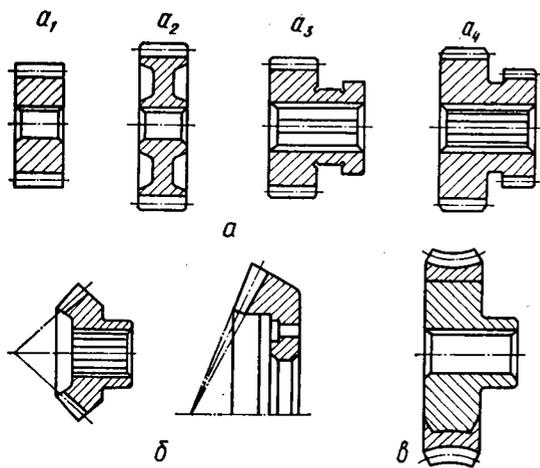


Рис. 77. Зубчатые колеса:

a — цилиндрические с прямыми зубьями; *б* — конические; *в* — червячное.

болтов в стыках и производят совместное развертывание отверстий. После сборки половинок и соединительных болтов растачивают центральное отверстие, устанавливая шкив по ступице, и обтачивают наружную поверхность, устанавливая ступицу на шип по обработанному отверстию.

Обработка зубчатых колес. Зубчатые колеса применяют во многих машинах. Изготавливают их ежегодно миллионами штук. В некоторых металлорежущих станках применяется по 50—60 колес на один станок, в автомобилях и тракторах — по 18—20 штук на машину.

Конструктивные разновидности зубчатых колес показаны на рис. 77. Зубчатые колеса в среднем машиностроении по размерам наружного диаметра разбивают на три группы: до 80 мм, от 80 до 300 мм и свыше 300 мм. Согласно ГОСТ 1758—81 зубчатые колеса различают по степени точности. В машиностроении применяют главным образом колеса 6-й, 7 и 8-й степеней точности. Точность зубчатого колеса

Таблица 31. Окружные скорости и степени точности зубчатых колес

Колеса	Окружная скорость, м/с, при степени точности		
	6	7	8
Цилиндрические (ГОСТ 1643—81): прямозубые косозубые	6—16 16—40	2,5—6 6—16	<2,5 2,5—6
Конические (ГОСТ 1758—81): прямозубые с косыми и криволинейными зубьями	4—10 10—25	1,6—4 4—10	<1,6 <4

Таблица 32. Технические условия на изготовление зубчатых колес 7—8-й степеней точности

Условие	Допускаемое отклонение
Точность центрального отверстия	6—8-й квалитет
Точность шага зубцов	0,01—0,02 мм
Радиальное биение по начальной окружности	0,03—0,04 мм
Торцовое биение	0,03—0,04 мм на радиусе 150—200 мм
Непараллельность боковых поверхностей зуба оси отверстия	0,01 на длине 75 мм
Шероховатость посадочных поверхностей	1,25—0,32 мкм
Твердость закаленных поверхностей	HRC 50—55
Твердость цементированных и закаленных поверхностей	HRC 55—60
Глубина слоя цементации	0,8—1,5 мм
Твердость незакаленных колес	HВ 180—250

назначают в зависимости от окружной скорости, при которой должно работать колесо (табл. 31).

Технологические задачи — получение точного центрального отверстия, достижение concentричности отверстия и делительной окружности, concentричности отверстия и окружности выступов (впадин) зубьев, достижение перпендикулярности торцов к оси детали, получение шпоночного паза (если требуется по чертежу), параллельного оси отверстия, получение достаточно точных поверхностей зубьев.

Технические условия на изготовление цилиндрических зубчатых колес 7—8-й степени точности, которые наиболее часто применяются в среднем машиностроении, даны в табл. 32.

Материалы, применяемые чаще всего для зубчатых колес:

Без термообработки	Стали 45, 40X, чугун СЧ21-40, СЧ24-44 (при окружной скорости <math>< 6 \text{ м/с}</math>)
С термическим улучшением	Стали 40, 45, 50, 50Г, 40X, 40ХН, 35ХГС
Закаленные	Стали 45, 40X, 40ХН, 40ХНМА
Цементированные и закаленные	Стали 15X, 20X, 12ХН3А, 18ХГТ, 15ХФ, 18ХНВА
Поверхностно-закаливается с нагревом ТВЧ	Стали 45, 40X
Азотируемые	Стали 38ХВФЮА, 38ХЮА, 38ХМЮА

Для приводных шестерен, работающих при окружных скоростях до 40—50 м/с, применяют также текстолит и древеснослоистый пластик — лигнофоль.

Заготовки. Колеса диаметром до 60 мм изготавливают из прутка на револьверных станках или на многошпиндельных автоматах. Заготовки для колес больших размеров получают главным образом в единичном и мелкосерийном производстве в виде поковок под молотом, в серийном — в виде штамповок в подкладных штампах, в крупносерийном и массовом — в закрытых штампах. Центральные отверстия диаметром свыше 25 мм прошивают при штамповке.

Припуски на обработку зубчатых колес назначают в зависимости от рода заготовок. При заготовках из проката припуск по обработке

Таблица 33. Типовой процесс обработки зубчатого колеса с цементацией и закалкой

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Черновая обработка по всем поверхностям и сверление отверстия *	Токарный или сверлильно-токарный станок	Наружная цилиндрическая поверхность
2	Термическая — отжиг	—	—
3	Обработка центрального отверстия с точным припуском (ПТ)	Токарный станок	Наружная поверхность
4	Чистовая токарная обработка наружных поверхностей на оправке ПТ	» »	Отверстие
5	Нарезание зубьев колес на оправке ПТ	Зубофрезерный станок	»
6	Протягивание шпоночной канавки с помощью протяжного кондуктора ПТ	Протяжный станок	»
7	Термическая — цементация и закалка	—	—
8	Шлифование центрального отверстия в пределах допуска на изготовление с установкой по зубчатому венцу	Внутришлифовальный станок	Впадины между зубьями
9	Отделка зубьев с установкой колеса на нормальной оправке	Зубошлифовальный станок	Отверстие
10	Контроль	—	—

* Выполняется в две установки.

ваемым поверхностям получается 1,5—2 мм на сторону. При ковеной заготовке под молотом для колес диаметром 200—250 мм припуски получаются в пределах $5 \pm 3,0$ мм, для штампованных заготовок в подкладных штампах 3—4 мм, в закрытых штампах 2—3 мм на сторону.

Технологические базы на первых операциях — наружные необработанные поверхности. После обработки отверстия и торца их принимают в качестве технологической базы на большинстве операций. Детали с нарезанными зубьями после термообработки в пламенной печи снова обрабатывают (шлифуют отверстие), причем деталь базируют по впадинам между зубьями.

Средние режимы резания даны в табл. 29.

Типовые технологические процессы. Существует три основных варианта обработки цилиндрических зубчатых колес: токарно-револьверный, сверлильно-токарный, протяжно-многорезцовый.

Первый вариант применяют, обрабатывая мелкие зубчатые колеса диаметром до 50—60 мм (тип a_1 по рис. 77, а), полученные из прутков. Револьверная наладка токарной обработки для этого варианта аналогична показанной на рис. 65, а. На револьверном станке подрезают торец, сверлят отверстие и начерно обтачивают наружную поверхность, снимают наружную и внутреннюю фаски, зенкеруют, развертывают отверстие и отрезают деталь. На второй операции на токарном станке обработку ведут на оправке: обтачивают начисто наружную поверхность, подрезают торец по размеру согласно чертежу и снимают наружную и внутреннюю фаски. Третья операция — зубонарезание на зубофрезерном станке, четвертая — шевингование, пятая (слесарная) — снятие заусениц.

Таблица 34. Типовой процесс обработки зубчатых колес с закалкой

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Черновая обработка всех наружных поверхностей и сверление отверстия *	Токарный полуавтомат	Наружная цилиндрическая поверхность
2	Термическая обработка — отжиг	—	—
3	Протягивание шлицевого отверстия с припуском на шлифование центрирующих выступов	Протяжной станок	Торец
4	Черновая обработка на многолезцовом станке	Многорезцовый токарный станок	Шлицевое отверстие
5	Чистовая обработка на многолезцовом станке	То же	» »
6	Нарезание зубьев с припуском под шлифование 0,1—0,2 мм на сторону	Зубофрезерный станок	» »
7	Термическая обработка — закалка	Установка для нагрева ТВЧ	—
8	Шлифование центрирующих выступов в отверстии и торца с установкой колеса по зубьям	Внутришлифовальный станок с приспособлением для шлифования торца	Впадины между зубьями
9	Шлифование торца	Круглошлифовальный станок	Шлицевое отверстие
10	Шлифование канавки под сухарь	Плоскошлифовальный станок	Шлифованный торец
11	Шлифование второго торца	Гидропресс	Шлифованный торец
12	Отделка шлицевых канавок прошивкой	Зубошлифовальный станок	Шлицевое отверстие
13	Шлифование зубьев	—	—
13	Контроль	—	—

Выполняется в две установки.

Второй вариант применяют (табл. 33) при серийном изготовлении зубчатого колеса из стали 20Х, с цементацией и закалкой (тип a_2 по рис. 77, а). Заготовка — штамповка в закрытых штампах. Обработка до цементации и закалки производится с помощью специальной оснастки, имеющей шифр ПТ (припуск точный). Этот точный припуск назначают по следующим соображениям (рис. 78). Если изготовляют деталь до термообработки в пределах допуска на изготовление, то после термообработки отверстие деформируется и поверхность его обычно испорчена окалиной. Части материала, оставшейся в пределах допуска на изготовление, может не хватить для получения точного и чистого отверстия при окончательной обработке. Поэтому дается промежуточный увеличенный припуск порядка припуска на шлифование (0,2—0,3 мм на сторону). Так как деталь на промежуточных опе-

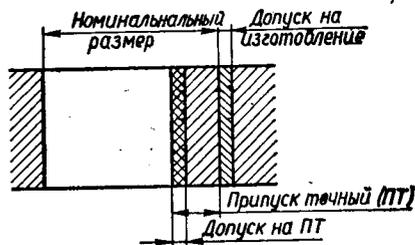


Рис. 78. Схема расположения точного припуска (ПТ).

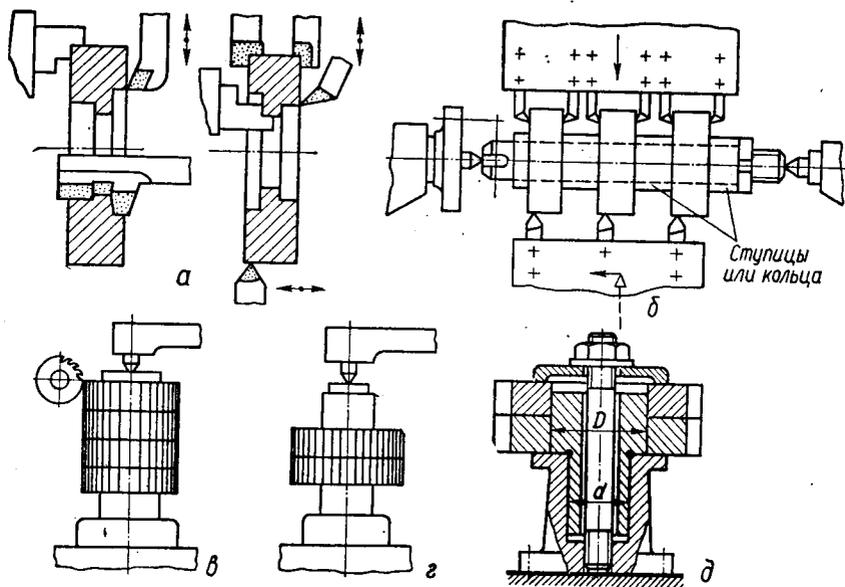


Рис. 79. Схема наладок.

рациях до термообработки должна обрабатываться с помощью точной оснастки, то на отверстие с припуском ПТ устанавливается допуск по 9-му качеству.

Третий вариант (табл. 34) обработки зубчатых колес применяют при серийном изготовлении зубчатого колеса из стали 45, с закалкой и отделкой зубьев (типы a_3 , a_4 по рис. 77, а). Деталь имеет шлицевое центральное отверстие, предназначенное для центрирования его по внутреннему диаметру шлицевого вала, сопрягаемого с колесом.

Повышение производительности труда при обработке цилиндрических зубчатых колес. Поскольку зубчатые колеса изготавливаются в значительных количествах, даже небольшая экономия времени при изготовлении каждого отдельного колеса может дать существенное повышение производительности труда, если партия большая.

К методам повышения производительности труда относятся следующие:

- 1) применение многорезцовых наладок при токарной обработке заготовок или деталей;
- 2) одновременная обработка нескольких деталей за одну установку;
- 3) применение специальных приспособлений, сокращающих время установки и выверки деталей;
- 4) применение специальных инструментов для скоростной обработки колес.

При токарной обработке заготовок можно применять многорезцовые наладки (рис. 79, а) на универсальных токарных станках или на специальных многорезцовых полуавтоматах. Обработку выполняют комплектом твердосплавных резцов с двух установок со скоростью резания около 100 м/мин при подаче 0,3—0,36 мм/об.

Многорезцовая обработка нескольких заготовок на оправке показана на рис. 79, б. Отверстия и торцы ступиц следует предварительно обработать начисто. Цилиндрические колеса без выступающих за пределы венца ступиц устанавливают на оправку с проставными кольцами.

При зубофрезеровании на оправку необходимо устанавливать несколько колес, чтобы сократить время на наладку, вспомогательное время и время на холостые ходы фрезы (рис. 79, в). Для колес с выступающими ступицами возможна обработка по схеме, показанной на 79, г.

Чтобы сократить время на выверку оправок, рекомендуется устанавливать колеса на сменных пальцах и постоянно закрепленном станке (рис. 79, д).

Значительно повышается производительность труда в результате применения специальных червячных фрез. Двух- и трехзаходные фрезы, если оставлять припуск под последующее шевингование, повышают производительность в 1,5—2 раза.

Фрезы с твердосплавными пластинами Т5К10, работающие в диапазоне скоростей резания 100—140 м/мин при подаче на один оборот заготовки около 2 мм/об, повышают производительность в 2—3 раза.

Особенности обработки конических зубчатых колес. Некоторые конические зубчатые колеса близки к форме диска некоторые представляют собой соединение диска и втулки (рис. 77). Технологическими базами таких деталей являются центральное отверстие и торцы, а также поверхности конусов и наружная цилиндрическая поверхность втулки или хвостовика. До обработки зубьев заготовки обрабатывают примерно по тому же маршруту, что и цилиндрические зубчатые колеса*.

На токарных станках при установке по конусу в патроне применяют качающиеся зажимные губки, которые соответствуют форме конуса. Обработываемое коническое колесо со втулкой, после сверления центрального отверстия протягивают шлицы. На последующих операциях технологическими базами служат центральное отверстие и торец.

Для токарной обработки при малых выпусках применяют токарно-револьверные станки, при больших выпусках — токарные многошпиндельные горизонтальные и вертикальные полуавтоматы.

Для чернового фрезерования прямых зубьев используют или специальные зубофрезерные полуавтоматы для одновременного фрезерования нескольких колес, или аналогичное полуавтоматическое приспособление к горизонтально-фрезерному станку. Чистовую обработку выполняют на зубострогальных станках. При достаточном количестве изделий можно применять зубопротяжный станок с круговой протяжкой, на которой выполняют черновую и чистовую обработку зубьев. Для фрезерования криволинейных зубьев применяют специальные зубофрезерные полуавтоматы. Для остальных операций применяют обычное оборудование: радиально- и вертикально-сверлильные, плоскошлифовальные, внутришлифовальные и другие станки.

Обработка червячных зубчатых колес. Нормы точности червячных колес определены в ГОСТ 3675—81. Особенности обработки связаны

* Методы нарезания зубьев конических колес подробно описаны в общем курсе [7].

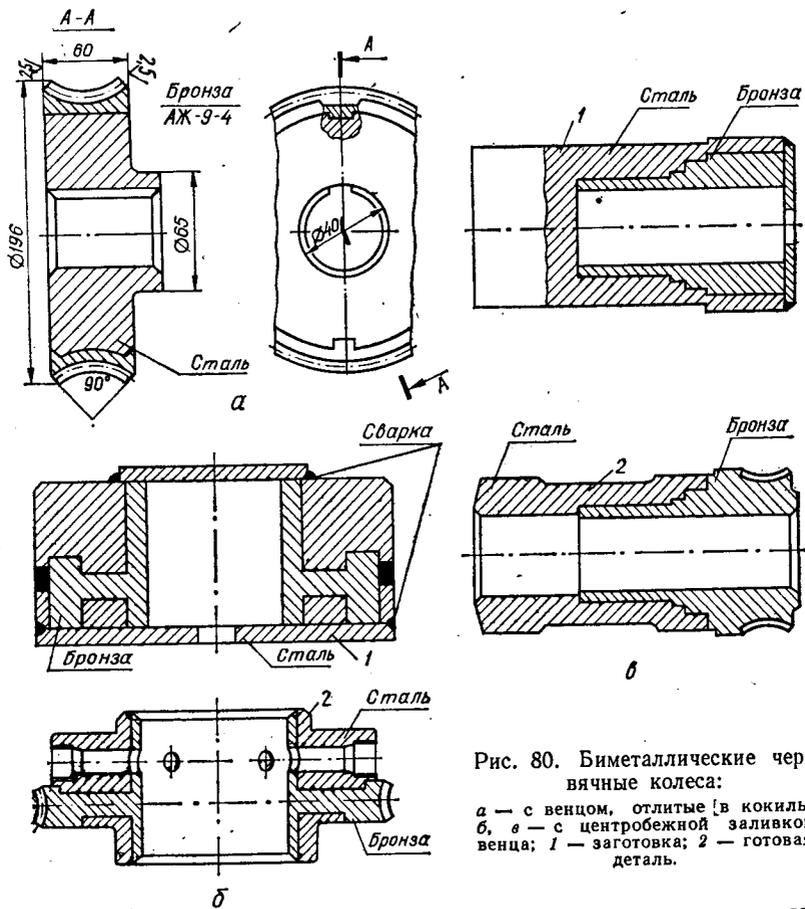


Рис. 80. Биметаллические червячные колеса:

а — с венцом, отлитые в кокиль; б, в — с центробежной заливкой венца; 1 — заготовка; 2 — готовая деталь.

с некоторыми особенностями конструкции червячных колес. Чаще всего такие колеса делают составными с насадными бронзовыми венцами или биметаллическими — с бронзовым венцом, залитым на стальную заготовку. Тихоходные колеса изготовляют из чугуна (при скоростях скольжения профилей менее 2 м/с). У составных червячных колес отдельные части вытачивают из соответствующих заготовок порознь. Посадочные присоединительные поверхности обрабатывают точно, остальные — с припуском 1,5—2 мм на сторону. Затем части колеса соединяют и обрабатывают совместно начисто, устанавливая по точно обработанному отверстию. После этого обрабатывают зубчатый венец.

Заготовки биметаллических колес получают двумя способами: 1) при отливке в кокиль (рис. 80, а) и 2) при центробежной отливке (рис. 80, б, в). В первом случае венец приобретает форму, близкую к форме венца готовой детали. Тогда после обработки отверстия нужно только начисто обработать венец, торцы и нарезать зубья. Во втором случае необходимо обработать отверстия, снять лишний металл, ограничивающий бронзовый венец, а затем начисто обработать и наре-

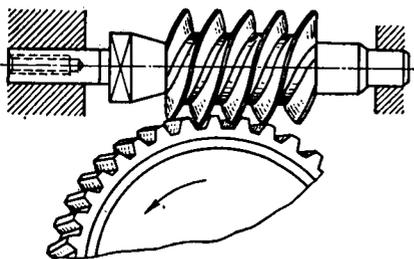


Рис. 81. Червячный шевер.

Рис. 82. Схемы:

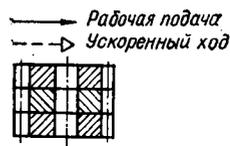
а — подготовки; б, в, г — осуществления программы обработки на токарном станке с ЧПУ.

зать зубья. Токарную обработку и обработку отверстий выполняют по общим правилам обработки деталей класса «диски».

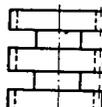
Как известно из общего курса, при нарезании зубьев применяют способы фрезерования червячной фрезой: с радиальной и с тангенциальной подачей (последняя осуществляется специальной фрезой, имеющей конусную заборную часть). Отделочную обработку производят червячным шевером (рис. 81).

Автоматизация обработки зубчатых колес. В процессе производства зубчатых колес наиболее трудоемки токарные и зуборезные работы. Поэтому в первую очередь автоматизируют эти процессы (по принципу частичной или полной автоматизации).

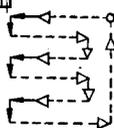
Частичную автоматизацию можно осуществить в серийном и крупносерийном производстве, полную автоматизацию — в крупносерийном и массовом производстве. При частичной автоматизации токарную обработку штучных заготовок выполняют на токарных многорезцовых полуавтоматах, нарезание и отделку зубьев — на зуборезных и зубоотделочных полуавтоматах. Загружают и разгружают заготовки для обрабатываемых деталей вручную, рабочие движения инструментов и заготовок автоматизированы. Со станка на станок детали передаются партиями на тележках или по склизам и лоткам. Для частичной автоматизации используют также станки с программным управлением для токарной и зубофрезерной обработки. Схема подготовки и выполнения программы обработки на одном из токарных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) при обработке заготовки до нарезания зубьев показана на рис. 83. Схемы циклов обработки цилиндрических и червячных зубчатых колес, выполняемых на зубофрезерных станках с программным управлением, показаны на рис. 82. В данном случае для задания программы из-за простоты циклов



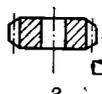
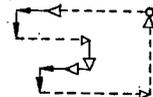
а



б



в



г



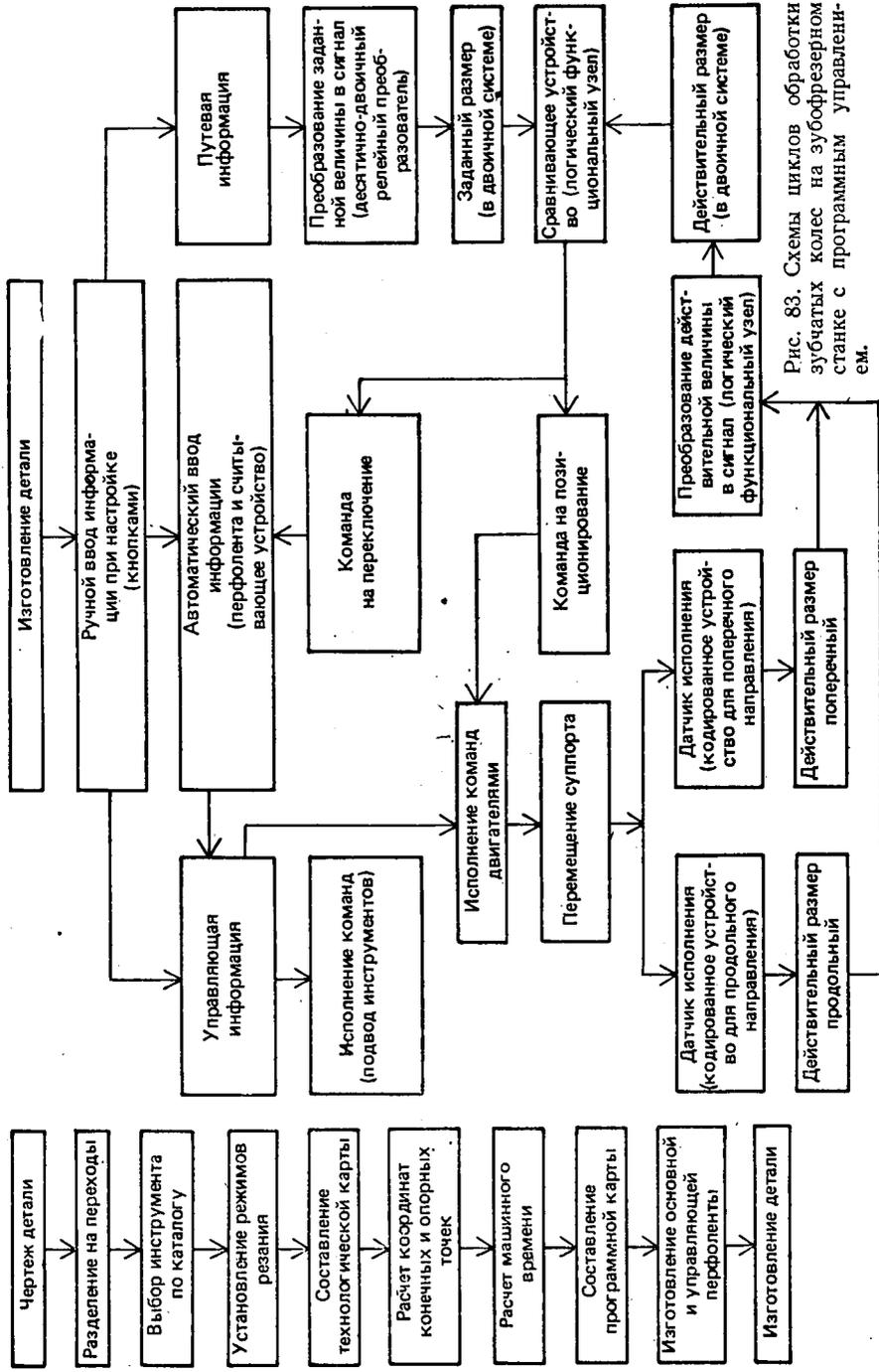


Рис. 83. Схемы циклов обработки зубчатых колес на зубофрезерном станке с программным управлением.

Таблица 35. Маршрут обработки двухвенцового зубчатого колеса на автоматической линии

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Обработка малого венца: зенкерование отверстия, снятие фасок, подрезание торцов, обтачивание	Токарный вертикальный многорезцовый станок	Необработанный торец и наружная поверхность
2	Обработка большого венца: зенкерование отверстия, снятие фасок, подрезание торцов, обтачивание	То же	Обработанный торец и наружная поверхность малого венца
3	Протягивание шлицевого отверстия	Вертикально-протяжный станок	Торец
4	Чистовая обработка наружного контура	Токарный вертикальный многорезцовый станок	Шлицевое отверстие, торец
5	Фрезерование зубьев большого венца	Зубофрезерный станок	То же
6	Контурное строгание зубьев малого венца	Специальный зубодолбежный станок	» »
7—8	Закругление зубьев большого и малого венцов	Зубозакругляющие станки	» »
9	Зачистка заусениц и мойка	Станок для зачистки заусениц	» »
10—11	Шевингование зубьев большого и малого венцов	Зубошевинговальные станки	» »
12—13	Мойка, контроль	Моечный агрегат	—
14	Термообработка (цементация и закалка)	—	—
15	Калибрование шлицев	Вертикально-протяжный станок	Торец
16—17	Обкатывание зубьев малого и большого венцов	Обкатные станки	—
18	Мойка	—	—
19	Окончательный контроль	—	—

применен цилиндрический командоаппарат с переставляемыми собачками, включающими соответствующие команды.

В мировом станкостроении наблюдается тенденция к соединению нескольких видов обработки на одном станке и созданию для этой цели станков-комбайнов с автоматическим циклом работы. Уже есть станки для зубофрезерования и шевингования, закругления зубьев и шевингования, зуборезные станки с полным автоматическим циклом, станки для зубофрезерования и снятия заусениц, специальные автоматы для снятия заусениц металлическими щетками и прочие. Эти тенденции отражаются и в практике отечественного станкостроения. Полностью автоматизировать механическую обработку зубчатых колес можно с помощью автоматических линий. В СССР первая переналаживаемая линия была спроектирована в ЭНИМСе. Линия предназначена для обработки одновенцовых колес наружным диаметром 100—200 мм, диаметром центрального отверстия 28—50 мм. Колеса этих размеров могут иметь модуль 1,5—5 мм. Линия рассчитана для обработки 10 типоразмеров зубчатых колес с

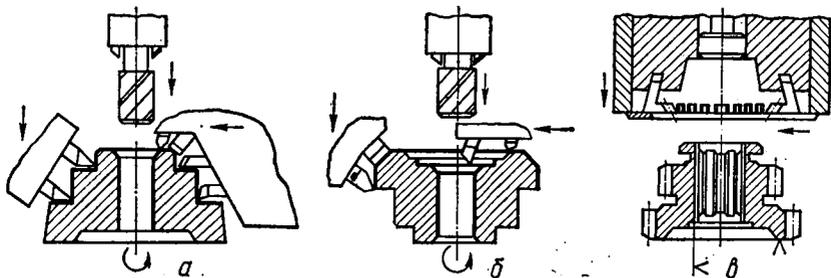


Рис. -84. Позиции автоматической линии с высокой концентрацией обработки: а, б — на вертикальном токарном автомате; в — на специальном зубодобъемном станке с многозубцовой головкой (контурное строгание).

годовым выпуском 120 000 штук. Для этой линии были спроектированы специальные токарные станки с вертикальными шпинделями и вертикально-протяжные, зубофрезерные, конструкции которых были использованы в другой, более сложной линии * для обработки двухвенцовых колес. На линии обрабатывается четыре типоразмера колес наружными диаметрами 80—250 мм, высотой до 100 мм с модулем 1,5—6 мм. Годовая производительность линии 100 тысяч. Маршрут обработки двухвенцового зубчатого колеса на автоматической линии приведен в табл. 35. Заготовка-штамповка — из стали 18ХГТ, припуск на обработку 2,5—3 мм на сторону.

Наиболее интересны с технологической точки зрения операции с высокой концентрацией обработки на первых токарных станках (рис. 84, а, б) и операция контурного строгания зубьев специальной многозубцовой головкой с радиальной подачей резцов (рис. 84, в).

Определение трудоемкости, станкоемкости и себестоимости обработки деталей класса «диски». Наиболее вероятное машинное время обработки зубчатого колеса (рис. 85) в серийном производстве определяют из приложения 2 по следующим данным **::

Сверление, зенкерование, черновое и чистовое развер-

тывание отверстия

$$t = db \sum_1^4 K_t$$

Обтачивание наружной поверхности начерно и на-

чисто

$$t = Db \sum_1^2 K_t$$

Подрезание торцов начерно и начисто

Протягивание шпоночной канавки

Нарезание зубьев червячной фрезой

$$t = 2K_7 (D^2 - d^2)$$

$$t = K_8 b$$

$$t = K_9 bZ$$

Суммарное машинное время составит

$$\sum_1^9 t = b \left(d \sum_1^4 K_t + D \sum_1^2 K_t + K_8 + K_9 Z \right) + 2K_7 (D^2 - d^2). \quad (70)$$

Кoeffициенты K_1, K_2, \dots, K_9 берут из приложения 2. Для колеса диаметром $d = 40$ мм, $D = 80$ мм, $Z = 40$ зубьев, $b = 30$ мм суммарное машинное время

* Спроектирована ЭНИМСом и изготовлена заводом «Станкоконструкция».

** Для упрощения все индексы в обозначении машинного времени отброшены.

составит

$$T_m = \sum_1^9 t = 30 (0,00208 \cdot 40 + 0,000167 \cdot 80 + 0,0003 + 0,005 \cdot 40) + 2 \cdot 0,000033 (80^2 - 40^2) = 9,12 \text{ мин/шт.}$$

Калькуляционное время, если коэффициент $\psi_k = 2$ (приложение 3),

$$t_k = \psi_k T_m = 2 \cdot 9,12 = 18,24 \text{ мин/шт.}$$

Если обработка производится на станке-комбайне или на автоматической линии, то трудоемкость определяется по времени наиболее продолжительной операции (перехода) в станке или в линии. Например, в рассматриваемом процессе наиболее продолжительная операция — нарезание зубьев, машинное время которой

$$T_m = 0,005 \cdot 30 \cdot 40 = 6 \text{ мин.}$$

Прибавив время на холостые ходы и на перемещение детали между операциями (оно равно 0,6 мин), получим такт выпуска. Он равен 6,6 мин.

Если в автоматической линии время выполнения нелимитирующих операций гораздо меньше, чем время, требующееся для лимитирующей операции, то можно увеличить производительность линии, поставив на лимитирующей операции два и более станков. В данном случае, при установке в линии трех зубофрезерных станков, такт выпуска рассматриваемого зубчатого колеса составляет около 3 мин.

Станкоемкость в серийном производстве равна штучному времени. Станкоемкость при обработке на автоматической линии равна произведению времени выпуска на количество обрабатывающих станков,

$$C_T \approx tn \text{ мин.}$$

Цеховую себестоимость детали при серийном изготовлении определяют по формуле (21)

$$C = \frac{cP}{\eta} + \bar{st}_k (1 + q).$$

При значениях:

$$c = 0,25 \text{ руб./кг, } P = 0,89 \text{ кг; } \eta = 0,6; \bar{s} = 0,012 \text{ руб./мин;}$$

$$q = 2,0; \quad t_k = 18,24 \text{ мин}$$

$$C = \frac{0,25 \cdot 0,89}{0,6} + 0,012 \cdot 18,24 \cdot 3 = 1,03 \text{ руб.}$$

При обработке деталей на автоматической линии расчетные величины изменяются следующим образом:

$$\bar{s} = 0,01 \text{ руб./мин; } q = 5,0; \quad t_k = 3 \text{ мин.}$$

Тогда

$$C = \frac{0,25 \cdot 0,89}{0,6} + 0,01 \cdot 3 \cdot 6 = 0,55 \text{ руб.}$$

Обработка колец. Кольца различного назначения часто встречаются в конструкциях машин, некоторые из них изготавливаются в больших количествах. По конструкции кольца можно разделить на следующие группы: неточные, точные со шлифованными торцами, точные со всеми шлифованными поверхностями, разрезные со шлифованными торцами и наружной поверхностью.

Кольца всех видов для уменьшения расхода металла целесообразно изготовлять из толстостенных труб, литье — из штучных заготовок.

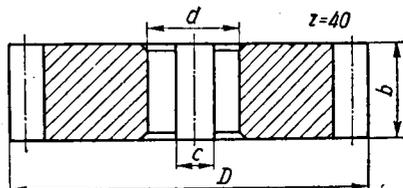


Рис. 85. Эскиз цилиндрического зубчатого колеса с прямыми зубьями.

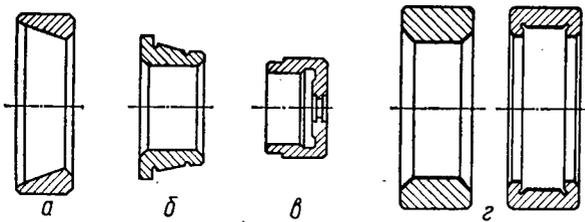


Рис. 86. Подшипниковые кольца:

a — наружное кольцо подшипника с коническими роликами; *b* — внутреннее кольцо такого подшипника; *v* — наружное кольцо карданного подшипника; *z* — кольца подшипников с цилиндрическими роликами.

Рассмотрим обработку наиболее точных (подшипниковых) колец в массовом производстве. Типы подшипниковых колец показаны на рис. 86.

Подшипниковые кольца выпускают десятками миллионов штук в год. Поэтому процессы обработки их широко автоматизированы.

Механическую обработку колец разделяют на две части — до термической обработки и после термической обработки. До термической обработки кольца изготовляют на многошпиндельных токарных автоматах: малые кольца — из прутка, кольца средних размеров диаметром 32—125 мм — из труб. Кольца больших размеров изготовляют на токарных полуавтоматах из штучных заготовок-штамповок. Карта наладки для обработки небольшого кольца на многошпиндельном автомате с расчетом оптимальной производительности станка и наименьшей себестоимости детали приведена в табл. 36.

Методика определения максимума расчетной производительности и минимума штучной стоимости деталей следующая *:

1) разрабатывают технологический процесс и выбирают типы станков (табл. 36);

2) ориентировочно определяют нагруженные инструменты в комплекте;

3) во вспомогательной карте (табл. 37) намечают предварительные режимы резания нагруженных инструментов при максимальных подачах (S_{\max}) по нормативам;

4) выявляют инструмент с наиболее продолжительным путем обработки и инструмент, работающий при низшей скорости резания. В качестве наиболее нагруженного принимают инструмент с наименьшей стойкостью;

5) вычисляют рабочий период наиболее нагруженного инструмента; приведенное время, необходимое на замену инструментов, и приведенную стоимость одной замены инструментов;

6) приняв за основу расчета нормативную скорость наиболее нагруженного инструмента $v_{\text{н}}$, задаются любыми стойкостями выше и ниже выбранной нормативной стойкости наиболее нагруженного инструмента и в соответствии с этими стойкостями пересчитывают скорости обработки для всех инструментов по закону стойкость — скорость ($T-v$) и при постоянной подаче (табл. 36)**.

В дальнейшем потери, производительность и штучную стоимость вычисляют в зависимости от всех заданных стойкостей и соответствующих им скоростей наиболее нагруженного инструмента;

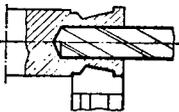
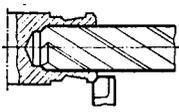
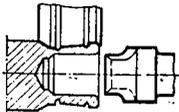
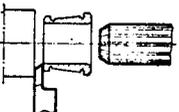
* Примеры расчета приведены в табл. 36 и 37.

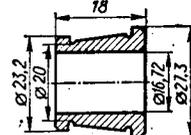
** При обработке жаростойких, тугоплавких труднообрабатываемых материалов зависимость $T-v$ может отличаться от нормативной.

7) из сопоставления полученных цифр выявляют максимум расчетной производительности и минимум штучной стоимости при соответствующих стойкостях наиболее нагруженного инструмента.

При смежных стойкостях инструментов всегда получают примерно одинаковые значения производительности станка и штучной стоимости изделия. Практически оптимальной будет работа при более высоких смежных стойкостях, так как при этом снижается расход инструментов,

Таблица 36

План обработки	№№ переходов	Наименование переходов и операции	Принятый режим обработки					
			Рабочий путь	Поддача S мм/об	$\eta_{пл}$ соответствующее рабочему пути	$\eta_{пл}$ соответствующее зачистке	$\eta_{пл}$ мин	Скорость резания, м/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	Сверление $\phi 14,3$	18	0,14			388	17,5
	2	Черновая фасонная обточка	3	0,04			"	34
	3	Зенкерование $\phi 16,3$	18	0,14			388	19,8
	4	Снятие фаски	0,5	0,02			"	33
	5	Чистовая фасонная обточка	0,5	0,02			388	27
	6	Обработка внутр. гатели	1,5	0,14			"	21
	7	Развертывание отверстия $\phi 16,72$	18	0,14			388	20
	8	Отрезка детали на длину 18	5	0,04			"	28



Определение максимума расчетной производительности

Скорость резания для наиболее нагруженного инструмента		$V = \frac{\pi d n}{1000} \frac{м}{мин}$
Стойкость наиболее нагруженного инструмента по времени чистого резания		$T_c = \frac{const}{v^{mn}} \frac{мин}{мин}$
Рабочий период инструментов (расчет η_i см, последнюю графу)		$T_3 = \eta_i \cdot T_c \frac{мин}{мин}$
Число замен инструментов за смену		$K = \frac{T}{T_3}$
Время на замену комплекта инструментов		$t_n = K \sum_{i=1}^{i=n} t_i \frac{мин}{мин}$
Время на заправку прутков		$t_{пр} = \frac{T t_{оу}}{t_{шф} + t_{оу}} \frac{мин}{мин}$
Время на личные надобности оператора		$t_n = 8 \frac{мин}{смену}$
Суммарное время потерь		$t_{пот} = t_n + t_{пр} + t_{л} \frac{мин}{мин}$
Расчетное производительное время работы станка		$T_p = T - t_{пот} \frac{мин}{мин}$
Штучное время		$t_{ш} = \frac{al}{nS} + t_x \frac{мин}{мин}$
Расчетная производительность		$\Pi_p = \frac{T_p}{t_{ш}} \frac{шт.}{шт.}$
Стоимость замены комплекта инструментов		$C_n = K_i \sum_{i=1}^{i=n} S_i \text{ коп}$
Стоимость обслуживания		$C_o = T \frac{B_n}{W_n} + \frac{B_o (1 + \frac{w}{100})}{W_o} \text{ коп}$
Суммарные затраты		$C = C_o + C_n \text{ коп.}$
Расчетная штучная стоимость деталей		$C_{ш} = \frac{C}{\Pi_p} \text{ коп.}$
Коэффициент для определения рабочего периода инструментов		$\eta_i = \left(\frac{t_x}{t_T} + \frac{t_{пр} + t_n}{T} \right) + 1$
Наиболее нагруженный инструмент	Сверло $\phi 14,3$	Теоретическая производительность Π_T Максимальная расчетная производительность Π_p
Начальный диаметр обработки	$\phi 14,3$	
Длина обработки	18,0	
Подача на один оборот детали	0,14	
Комплект нагруженных инструментов	Черновой и чистой фасонные резцы	Оптимальная производительность
	Зенкер $\phi 16,3$	Минимальная расчетная
	Отрезной резец	

и минимума штучной стоимости обрабатываемой детали									
7	9	13	15	17	18	19	20,5	22	24,5
960	720	480	240	150	120	90	60	40	24
1,09 1050	1,11 800	1,15 550	1,17 280	1,19 180	1,20 144	1,22 110	1,23 74	1,25 50	1,27 30
1	1	1	2	3	4	5	7	10	16
15	15	15	30	45	60	75	105	150	240
14	12	13	14	16	17	18	19	20	21
16	12	8	8	8	8	8	8	8	8
45	39	36	52	69	85	101	132	178	269
916	861	444	428	411	395	379	348	302	211
0,890	0,692	0,491	0,436	0,391	0,375	0,355	0,332	0,313	0,286
1030	985	900	980	1050	1050	1065	1050	965	735
42,6	42,6	42,6	85,2	127,8	170,0	213,0	298,0	426,0	682,0
120	90	60	60	68	78	88	113	148	—
162,6	132,6	102,6	145,2	135,2	246,0	301,0	411,0	514,0	—
0,158	0,135	0,114	0,148	0,185	0,244	0,283	0,392	0,595	—
1,09	1,11	1,15	1,17	1,19	1,20	1,22	1,23	1,25	1,27
В смену		1225 шт.							
В смену		1065 шт.							
комплекта инструментов		150 мин							
В смену		1050 шт.							
штучная стоимость		0,114 коп. при стойкости 480 мин							

Таблица 37. Вспомогательная карта для определения наиболее нагруженного инструмента *

Определяемая величина	Обозначение и формула	Величина для инструмента							
		Фасонного резаца чер-ногового		Сверла $d = 14,3$ мм		Зенкера $d = 16,3$ мм		Отрезного резаца	
		При $S_{\text{макс}}$ по нормати-вам	Принято	При $S_{\text{макс}}$ по нормати-вам	Принято	При $S_{\text{макс}}$ по нормати-вам	Принято	При $S_{\text{макс}}$ по нормати-вам	Принято
Рабочий путь	$L, \text{ мм}$	—	4	—	18	—	18	—	5
Подача	$S, \text{ мм/об}$	0,04	0,04	0,14	0,14	0,3	0,14	0,06	0,04
Скорость резания	$v, \text{ м/мин}$	41	48	24,5	24,5	32	28	34,5	46
Начальный диаметр обрабаты-вае-мой детали, мм	$d_{\text{нач}}, \text{ мм}$	—	28	—	14,3	—	16,3	—	27
Частота вращения шпинделя, об/мин	$n = \frac{1000v}{\pi d_{\text{нач}}}$	468	545	545	545	625	545	407	545
Машинное время	$t_m = \frac{L}{nS}$	0,214	0,184	0,236	0,236	0,096	0,236	0,204	0,230
Стойкость инструментов по времени чистого резания	T_{c1}	120	64	24	24	12	24	120	40
Количество деталей, обрабаты-ваемых за время T_{c1}	$T_{c1} = \frac{T_{c1}}{t_{m1}}; Q_2 = \frac{T_{c1}}{t_{m2}}$	560	347	101	101 **	125	101	588	173
Соотношение в количестве вамен инструментов	$\frac{Q_1}{Q_2}; \frac{Q_1}{Q_3}; \dots$	—	0,3	—	1	—	1	—	0,58
Время на одну замену инструмента, мин	t_1, t_2, \dots, t_n	—	7,5 ***	—	1	—	2	—	4
Приведенное время на одну замену, мин	$\frac{Q_1 t_1}{Q_1}; \frac{Q_2 t_2}{Q_2}; \dots$	—	20,0	—	1,1 = 1	—	2,1 = 2	—	0,58 \cdot 4 = 2,32
Стоимость одной замены, коп.	S_1, S_2, \dots, S_n	—	6,0	—	3,0	—	3,0	—	1,8
Приведенная стоимость одной замены, коп.	$\frac{Q_1 S_1}{Q_1}; \frac{Q_2 S_2}{Q_2}; \dots$	—	6,0	—	3,0	—	3,0	—	1,04

* Деталь и технология — по табл. 38, материал детали — сталь 40ХН, предел прочности $\sigma_b = 65 \text{ кгс/мм}^2$.

** $Q_i = 101$ шт.

*** Одновременно с черновым резцом меняют и чистовой.

многоинструментный станок работает более спокойно, уменьшается износ его деталей.

Из табл. 36 видно, что при нормативной стойкости наиболее нагруженного инструмента (сверла диаметром 14,3 мм) 24 мин расчетная производительность автомата самая низкая.

Наибольшая производительность бывает при стойкости сверла 90 мин, а наименьшая стоимость обработки — при стойкости 480 мин. Учитывая, что в пределах стойкостей сверла 60—150 мин производительность станка примерно одна и та же (около 1050 штук), а стоимость детали при наивысшей производительности в два раза больше минимальной, то в этом случае рационально выбрать режим обработки, соответствующий стойкости сверла 150 мин. При этом увеличится стойкость всего комплекта инструментов, уменьшатся расходы на заточку и износ инструмента, а стоимость детали значительно приблизится к минимальной.

Полное приведенное время на одну замену комплекта инструментов

$$t'_n = a_n t_n + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{Q_k}{Q_k} a_k t_k \approx 7,5 \text{ мин}; \quad a_1 = a_2 = \dots = a_n = 1.$$

С прибавкой 30 % времени на замену ненагруженных инструментов

$$t'_n = 7,5 \cdot 1,3 = 10 \text{ мин.}$$

Полная приведенная стоимость замены комплекта инструментов

$$C'_n = a_n t_n + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{Q_k}{Q_k} a_k S_k \approx 13 \text{ коп.}$$

С прибавкой 30 % на стоимость замены ненагруженных инструментов

$$C'_n = 1,3 \cdot 13 \approx 17 \text{ коп.}$$

• После термической обработки кольца обрабатывают кругом на шлифовальных станках. В поточной линии кольца шлифуют в соответствии с рис. 22, а. Для обработки колец в автоматической линии процесс шлифования не подходит, так как требуются сложные загрузочно-разгрузочные устройства, нет достаточно надежной базы и не обеспечивается достаточная точность и чистота поверхности. Поэтому в автоматической линии для шлифования колец введены специальные бесцентрово-шлифовальные автоматы с автоматической подналадкой шлифовального круга. Процесс проходит в соответствии с рис. 22, б и дает высокую точность обработки (она контролируется измерительными автоматами).

Для шлифования фасонных поверхностей колец применяют также полуавтоматы и автоматы, работающие по схемам, показанным на рис. 87. На Первом государственном подшипниковом заводе есть автоматический цех по изготовлению колец шарико- и роликоподшипников. В автоматическом цехе обрабатывают кольца на четырех линиях. Характеристики колец и исходные данные для обработки указаны в табл. 38.

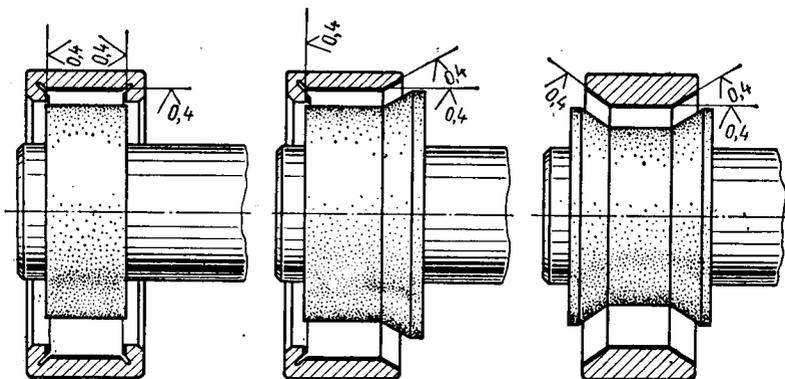


Рис. 87. К шлифованию фасонных поверхностей колец на специальных станках.

Производительность линий по изготовлению шарикоподшипников 900 тыс. комплектов в год, роликоподшипников 600 тыс. комплектов в год. Кроме того, действует автоматический цех карданных подшипников, предназначенный для выпуска 30 млн. колец подшипников и 780 млн. игольчатых роликов. Эти цехи выполнены по проектам специального конструкторского бюро.

Общий маршрут обработки подшипниковых колец по рис. 86 приведен в табл. 39. Заготовки берут согласно табл. 38, материал — сталь ШХ-15.

Перспективы развития процессов обработки деталей класса «диски». Наряду с дальнейшим развитием автоматизации производства зубчатых колес на переналаживаемых автоматических линиях будут развиваться новые процессы производства заготовок зубчатых колес, уменьшающие механическую обработку. Будет развиваться шпамповка заготовок на кривошипных ковочных прессах с газовым или электрическим нагревом заготовок. Такие заготовки дают возможность повысить коэффициент использования металла на 10—12 %. Кроме того, получаются достаточно точные и чистые наружные поверхности заготовок; углубления в них можно не обрабатывать. Перспективно прессование небольших зубчатых колес из металлических порош-

Таблица 38. Заготовки и припуски на обработку подшипниковых колец в автоматическом цехе

	Кольца шарикоподшипников		Кольца роликоподшипников	
	наружные	внутренние	наружные	внутренние
Диаметр кольца, мм	65—125	32—65	125—200	65—125
Заготовки	Горячекатаные трубы	Холоднотянутые трубы	Штамповки	
Припуск на сторону, мм	0,8—1	2	3,5—4 по всем размерам	

Таблица 39. Маршрут обработки подшипниковых колец в массовом автоматизированном производстве

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Токарная обработка наружных и внутренних поверхностей в две установки	Многошпиндельный токарный полуавтомат	Наружные и внутренние поверхности
2	Клеймение по торцу	Гидропресс	Торец
3	Термообработка (закалка, промывка, низкотемпературная обработка —8 —12°)	Установка для закалки	—
	Отпуск (150—160° —3 ч)	Электropечь	—
4	Шлифование торцов	Плоскошлифовальный станок-автомат	Торец
5	Размагничивание колец	Демагнитизатор	—
6	Шлифование наружной поверхности, предварительное и окончательное	Бесцентрово-шлифовальный автомат	Торцы
7	Шлифование желоба (дорожки)	Специальные шлифовальные автоматы	»
8	Шлифование отверстия	Внутришлифовальный автомат	Наружные поверхности и торец
9	Полирование желоба	Бесцентрово-желобополировальный станок	Торец
10	Отделочная обработка наружных колец	Ленточношлифовальный станок	—

ков (порошковая металлургия) и различных пластмасс по мере улучшения их механических свойств. Будут развиваться такие процессы, как накатывание зубьев на накатных станках и штамповка конических зубчатых колес с зубьями. В ряде случаев следует применять многошпиндельные зубодолбежные и зубофрезерные станки, в особенности в разветвленных потоках автоматических линий. Для обработки зубьев в дальнейшем будут больше применяться твердосплавные червячные фрезы, работающие при скоростях резания около 100 м/мин, абразивные червяки для снятия заусениц и фасок на зубьях. В серийном и крупносерийном производстве будут шире применяться станки с программным управлением и автоматической загрузкой.

В массовом производстве чистовая обработка зубьев будет заменяться протягиванием на горизонтальных или вертикальных станках, увеличивающим производительность труда в 10—12 раз по сравнению с производительностью, достигаемой другими способами изготовления зубьев. Отделочная обработка будет дополняться хонингованием зубьев зубчатыми хонами из абразивного материала. Этот процесс более производителен, чем зубошлифование, а в ряде случаев может его заменить.

При изготовлении других деталей класса «диски» (например, шкивов) дальнейшее развитие получают отливки заготовок из легких сплавов в кокиль, центробежная отливка, прессование шкивов из пластмасс

Будут далее развиваться процессы автоматизации производства колец шарико- и роликоподшипников, контроля и сборки самих подшипников.

§12. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «НЕКРУГЛЫЕ СТЕРЖНИ»

Общие сведения. К деталям класса «некруглые стержни» относятся рычаги, вилки, шатуны, тяги, балансиры и т. п. (рис. 88).

Технологические задачи, решаемые при обработке деталей этого класса, следующие: 1) достижение параллельности и перпендикулярности осей отверстий в заданных пределах; 2) достижение перпендикулярности торцов к осям отверстий; 3) получение точных отверстий и точных расстояний между ними.

Технические условия на изготовление рычагов немассового применения устанавливает конструктор, исходя из назначения рычага и условий его работы в узле. Для рычагов массового применения (например, шатунов) имеются Государственные общесоюзные стандарты.

Основные технические условия при изготовлении рычагов немассового применения следующие:

Допуск на расстояния между осями главных отверстий	0,1—0,2 мм
Непараллельность осей отверстий	0,03—0,05 мм на длине 200 мм
Неперпендикулярность торцов бобышек и оси отверстий	0,03—0,04 мм на радиусе 50 мм
Точность отверстий под пальцы	6—9-й квалитет
Шероховатость отверстий	1,25—0,32 мкм

Материалы, применяемые для деталей этого класса: серый чугун марки СЧ18-36, СЧ24-44, для ненагруженных рычагов чугун СЧ12-28, ковкий чугун КЧ37-12, КЧ35-10, стальное литье марки 35Л; прокат сталь 45 и другие машиноподелочные стали.

Заготовки — преимущественно отливки и штамповки; для крупных деталей — поковки; для некоторых простых по конфигурации деталей — листовой прокат (рис. 88, б).

Припуски на обработку назначают в зависимости от величины деталей и рода заготовок. Примерные численные значения величин припусков по торцам следующие:

Рычаги	Припуск на сторону, мм
Чугунные	3—4
Стальные штампованные	1,5—2
Стальные литые, изготавливаемые по выплавляемым моделям	0,5—0,8
Поковки свободнойковки	6—8 на сторону и больше

Погрешности установки возникают из-за перекоса опорных торцов относительно оси отверстия или перекоса оси отверстия относительно торцов. Если рычаг устанавливают по штырю (центрирующему шипу), то может возникать дополнительная погрешность установки за

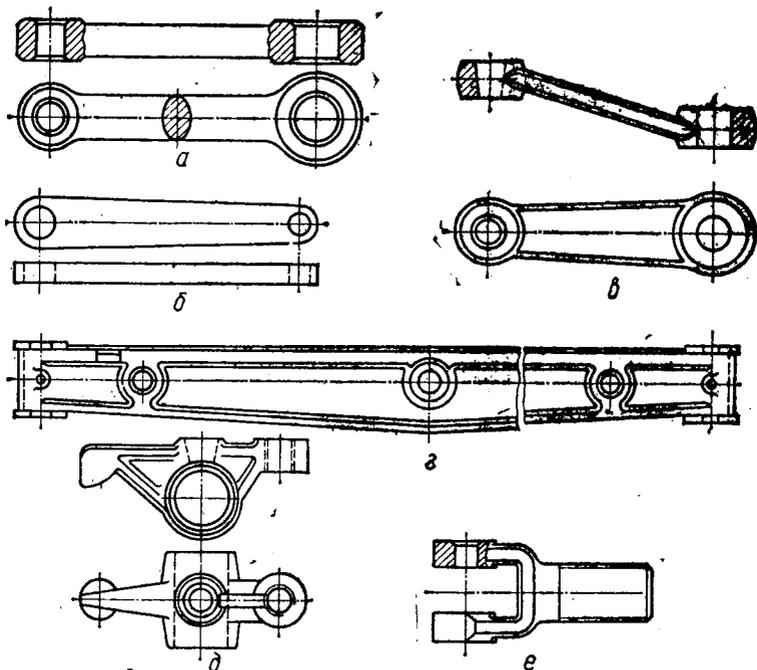


Рис. 88. Детали класса «некруглые стержни»

a — горячештампованный рычаг; *b* — холоднотампованный рычаг; *c* — литой рычаг; *d* — балка; *e* — коромысло толкателя; *e* — вилка.

счет перекоса оси шипа или неточности его диаметрального размера.

Если деталь устанавливают в призмах, отклонения от параллельности плоских поверхностей при фрезеровании или подрезании торцов возникают из-за неправильного расположения (несоосности) призм или неодинаковой высоты опорных элементов приспособлений.

Погрешности обработки возникают вследствие изнашивания режущих инструментов, направляющих и кондукторных втулок, при работе инструментов без кондуктора — вследствие введения промежуточных (переходных) втулок в шпиндель.

Средние режимы обработки деталей. Если обработка ведется единичными инструментами на станках общего назначения, режимы резания выбирают по нормативам [12].

При обработке на многоинструментных станках оптимальные режимы резания для комплекта режущих инструментов устанавливают на основе методики, приведенной в гл. I, и примера расчета, указанного в табл. 38.

Средние режимы резания при сверлении, зенкеровании, растачивании, протягивании, хонинговании отверстий, фрезеровании, шлифовании, подрезании и торцовом обтачивании плоских поверхностей приведены в приложении 2.

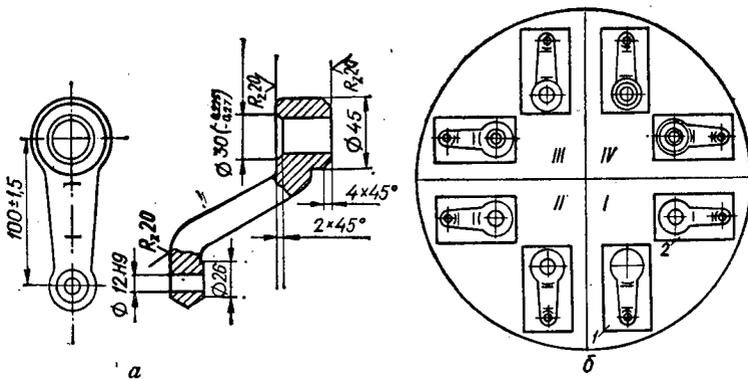


Рис. 89. К обработке рычагов на многошпиндельном сверлильном станке:

I + IV — позиции; 1, 2 — приспособления.

Типовые процессы обработки деталей. Простой рычаг (рис. 88, а) обрабатывают по следующему маршруту (заготовка — штамповка из стали 45):

- 1) фрезеруют базовые бобышки;
- 2) сверлят, зенкеруют, снимают фаски, выполняют черновое и чистовое развертывание отверстия, подрезают торцы облицовочным зенкером, направляя его по отверстию;
- 3) подрезают торцы с другой стороны облицовочным зенкером, направляя его по отверстию, снимают фаски;
- 4) снимают наружные фаски (если это необходимо).

Существует ряд вариантов процесса обработки плоских торцовых поверхностей: 1) бобышки обжимают под прессом (общее усилие 600—1200 т), после этого выполняют плоское шлифование; 2) осуществляют обдирочное шлифование торцов бобышек, затем — чистовое плоское шлифование. При обработке отверстий выполняют: 1) сверление, а затем протягивание или 2) сверление, зенкерование, прошивание.

Запрессовывая в отверстие втулку из антифрикционного материала, развертывают отверстие во втулке, после этого выполняют дорнование или тонкое (алмазное) растачивание.

В серийном производстве отверстия обрабатывают на вертикально-сверлильных или на радиально-сверлильных станках; в крупносерийном и массовом производстве — на многошпиндельных станках с поворотным столом и полуавтоматическим циклом работы (рис. 89, б).

Рычаг (рис. 89, а) обрабатывают в двух приспособлениях. После первого оборота стола частично обработанную деталь перекадывают из 1-го приспособления во 2-е (рис. 89, б). Маршрут обработки этого рычага приведен в табл. 40. Заготовка — штамповка из стали 45.

Отверстия диаметром до 50 мм при литье в землю не изготавливают. Отверстия в горячештампованных заготовках прошивают при диаметре свыше 25 мм.

Технологическими базами на первых операциях являются необработанные цилиндрические поверхности и торцы бобышек, тело стержня.

Таблица 40. Маршрут обработки рычага на многошпиндельном сверлильном станке (к рис. 89)

Позиция	Приспособление первое	Приспособление второе
I	Снятие полуобработанной детали, установка новой заготовки	Снятие обработанной детали и установка полуобработанной (с первого приспособления)
II	Сверление большого и малого отверстий	Подрезание торцов диаметром 26 и 45 мм
III	Зенкерование большого отверстия и подрезание торца малого	Развертывание малого отверстия и снятие фаски в большом отверстии
IV	Подрезание торца и снятие наружной фаски большой бобышки	Развертывание большого отверстия

На первых операциях обрабатывают торцы бобышек и отверстия, которые на последующих операциях используют как технологические базы, или делают дополнительные базы в виде фрезерованных площадок и центровых отверстий (рис. 90).

Основные операции — обработка торцов бобышек, обработка точных отверстий. В рычагах с отъемными крышками (шатунах, мотылях) — обработка точных отверстий под стяжные болты, обработка стыковых плоскостей.

Наиболее сложные процессы обработки деталей этого класса — процессы обработки шатунов двигателей внутреннего сгорания.

Ввиду большого разнообразия этих процессов в табл. 41 подробно рассмотрен только один типовой технологический процесс, в тексте — несколько вариантов процесса. Заготовка для шатуна (рис. 90) — штамповка из стали 45.

Точность отверстия под поршневой палец должна соответствовать 6 — 7-му качеству. Кроме того, устанавливают допуск на вес большой головки (не более 0,5 % номинального веса), более жесткие допуски на размер отверстия большой головки (под толстостенные вкладыши — 9-го качества, под биметаллические тонкостенные — 6-го качества).

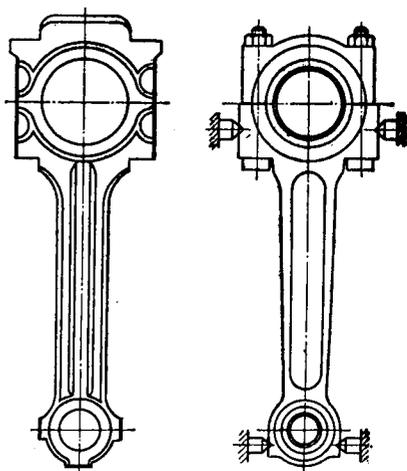


Рис. 90. Дополнительные базы для обработки шатунов.

Таблица 41. Типовой процесс обработки шатунов в поточной линии

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Фрезерование торцов головок	Специальный фрезерный станок	Наружные поверхности головок
2	Шлифование торцов головок	Плоскошлифовальный станок	Торцы попеременно
8	Протягивание базовых площадок на большой и малой головках	Протяжный специальный станок	Торцы
4	Растачивание отверстия в малой головке	Сверлильный специальный станок	"
5	Фрезерование мест под болты и гайки на большой головке	Горизонтально-фрезерный станок	Малое отверстие
6	Разрезание большой головки	То же	То же
7	Протягивание плоскостей стыка шатуна и крышки	Протяжный вертикальный станок	Торцы и боковые поверхности
8	Шлифование плоскостей стыка шатуна и крышки	Специальный плоскошлифовальный станок	Малое отверстие и торцы
9	Сверление, растачивание и развертывание отверстий под болты в большой головке и крышке	Специальный агрегатный станок	То же
10	Зенкование фасок в отверстиях под болты в шатуне и крышке	Вертикально-сверлильный станок	Стыковые поверхности
11	Подрезание облицовочным зенкером мест под болты и гайки в шатуне и крышке	То же	То же
12	Сборка шатуна и крышки	Верстак	—
13	Черновое растачивание отверстия в большой головке	Специализированный сверлильный станок	Малое отверстие и торцы
14	Зенкование фасок в отверстиях большой головки	Вертикально-сверлильный станок	Торцы
15	Шлифование торцов большой головки	Плоскошлифовальный станок	Торцы попеременно
16	Чистовое растачивание отверстий в обеих головках	Специальный расточный станок	Торцы
17	Прессование втулки в малую головку	Гидропресс	"
18	Тонкое растачивание отверстий в обеих головках	Алмазно-расточный станок	Торцы и вспомогательные базы
19	Хонингование отверстия в большой головке	Хонинговальный станок	То же
20	Окончательный контроль	—	—
21	Подгонка по весу большой головки	Фрезерно-контрольный автомат	Отверстие в малой головке
22	Разборка шатуна и зачистка заусениц	Верстак	—
23	Сборка шатуна с крышкой и вкладышем	"	—

Примечание. Шатуны сортируют по размерам диаметра отверстия в малой головке на три группы с интервалом 5 мкм.

Таблица 42. Маршрут обработки шатуна в автоматических линиях

Номер комплекса	Комплексы операций	Оборудование	Технологическая база
Обработка вне автоматической линии			
1	Фрезерование и шлифование торцов головок	Четырехшпиндельный фрезерный и плоскошлифовальный станки	Головки и торцы
2	Протягивание пяти базовых площадок и площадок под болты и гайки	Вертикально-протяжный станок	Торцы
Обработка в 1-й линии			
3	Предварительное и окончательное зенкерование большой и малой головок	Горизонтальный восьмишпиндельный зенкероувальный станок	Торцы и базовые площадки
4	Фрезерование площадок под гайки	Вертикально-фрезерный четырехшпиндельный станок	То же
5	Отрезание крышки от шатуна	Вертикально-фрезерно-отрезной пятишпиндельный станок	» »
Обработка вне линии			
6	Протягивание плоскостей стыка в шатуне и крышке	Вертикально-протяжный станок	» »
7	Шлифование плоскостей стыка в шатуне и крышке	Плоскошлифовальный станок	» »
Обработка во 2-й линии			
8	Сверление отверстий под болты в шатуне и крышке	Горизонтальный двусторонний сверлильный 16-шпиндельный станок	Торцы и базовые площадки
9	Зенкерование отверстий под болты в шатуне и крышке	Горизонтальный двусторонний зенкероувальный 16-шпиндельный станок	То же
10	Фрезерование паза под замок предварительное и окончательное	Горизонтально-фрезерный, двусторонний восьмишпиндельный станок	» »
Обработка в 3-й линии			
11	Зенкерование и развертывание отверстий в шатуне и крышке	Специальные многошпиндельные станки	Торцы и базовые площадки
12	Продувка отверстий, установка болтов, заворачивание гаек	Специальные установки и устройства	То же
13	Снятие фасок в отверстиях большой и малой головок	Вертикальный восьмишпиндельный станок	» »

Номер комплекса	Комплекс операций	Оборудование	Технологическая база
Обработка вне линии			
14	Окончательное шлифование торцов головок и размагничивание шатуна	Плоскошлифовальный станок. Демагнитизатор	Торцы
Обработка в 4-й линии			
15	Зенкерование и растачивание отверстия в большой головке, зенкерование, развертывание и тонкое растачивание отверстия в малой головке	Специальные многошпиндельные станки	Торцы и базовые площадки
16	Промывка, продувка, контроль и запрессовка втулки в малую головку	Специальные установки и пресс	—
Обработка вне линии			
17	Сверление и зенкерование отверстий для смазки в малой головке	Малый агрегатный станок	Торцы
18	Подгонка по весу	Вертикально-фрезерный	То же
19	Хонингование отверстия большой головки	Вертикально-хонинговальный	» »
20	Клеймение, промывка, контроль, демагнитизация	—	—

Автоматизация изготовления деталей класса «некруглые стержни». Потребность в большом количестве некоторых деталей этого класса, например шатунов, служит предпосылкой для автоматизации изготовления их. Для завода тракторных двигателей в СССР создан комплекс из четырех автоматических линий для обработки шатунов. Основные комплексы операций, производимых в линиях и вне линий, приведе-

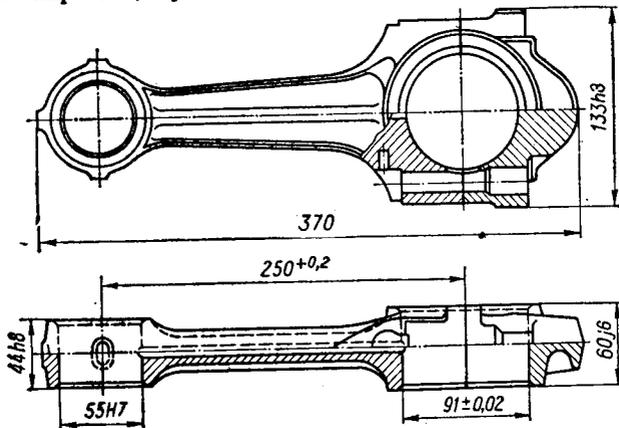


Рис. 91. Шатун тракторного двигателя.

ны в табл. 42. Заготовка — цельная штамповка с прошитыми в головках отверстиями.

В автомобильной промышленности при изготовлении шатунов корпус и крышку шатуна часто штампуют раздельно. В этом случае поверхность под вкладыш и базовые плоскости на корпусе шатуна и крышке обрабатывают на протяжном станке (рис. 92).

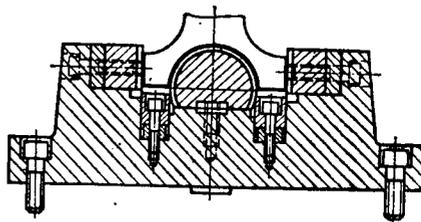


Рис. 92. К протягиванию корпуса шатуна.

Отверстия под стяжные болты обрабатывают обычно в корпусе шатуна и крышки параллельно, что обеспечивает комплектность этих деталей. Остальные операции подобны операциям, указанным в табл. 41.

Оценка трудоемкости, станкоемкости и себестоимости рычагов. Наиболее трудоемкие операции при обработке детали, изображенной на рис. 91, — это фрезерование торцов, обработка отверстий малой и большой головок, фрезерование мест под болты, обработка мест под болты. Используя методику расчета трудоемкости, изложенную в гл. I, и формулы наиболее вероятного времени, приведенные в приложении 2, находим наиболее вероятное машинное время обработки, мин, по операциям поточной линии (размеры D , d и l по рис. 91):

Операция	t , мин
Фрезерование торцов $l' = 110$ мм;	$t_1 = 0,006 \cdot 110 = 0,66$
Шлифование двух торцов $l'' = 80$ мм;	$t_2 = 2 \cdot 80 \cdot 0,00035 = 0,056$
Растачивание малой головки	$t_3 = 43 \cdot 42,4 \cdot 0,00009 = 0,16$
Фрезерование мест под болты	$t_4 = 4 \cdot 0,0059 = 0,32$
Разрезание большой головки	$t_5 = 19 \cdot 0,0048 = 0,09$
Шлифование стыков	$t_6 = 59 \cdot 0,00035 = 0,21$
Сверление, зенкерование, зенкование	
и развертывание отверстий под болты	$t_7 = dl \sum_1^5 K_i = 1,046$
Растачивание отверстий большой	
головки (черновое, чистовое и тонкое)	$t_8 = Dl \sum_1^3 K_i = 2,78$

Время на протяжные работы незначительно и его не учитывают в расчете. Суммарное машинное время

$$T_M = \sum_1^8 t_{M_i} \approx 6 \frac{\text{мин}}{\text{шт.}}$$

Приняв в среднем коэффициент калькуляционного времени равным 1,5 (приложение 3), получим калькуляционное время

$$t_k = \psi_k T_M = 1,5 \cdot 6 \approx 9 \frac{\text{мин}}{\text{шт.}}$$

Станкоемкость в данном случае также равна штучному времени, так как обработка проводится последовательно по всем операциям.

Себестоимость рассчитываем по формуле (21)

$$C = \frac{cP}{\eta} + \bar{a}t_k(1 + q).$$

Для данного случая $c = 25$ коп./кг; $\eta = 0,58$; $P = 3,63$ кг; $\bar{z} = 0,71$ коп./мин
 $t_k = 9$ мин; $q = 3,0$:

$$C = \frac{25 \cdot 3,63}{0,58} + 0,71 \cdot 9(1 + 3) \approx 1,65 \frac{\text{руб.}}{\text{шт.}}$$

Если применить концентрированную обработку на операциях 1 (одновременная обработка двух деталей), 7 (одновременная обработка четырех деталей), 8 (одновременная обработка четырех деталей), то машинное время на одну деталь снизится с 9 до 3,2 мин. Соответственно снизится и станкоёмкость.

Себестоимость детали

$$C = \frac{25 \cdot 3,63}{0,58} + 0,71 \cdot 3,2(1 + 3) \approx 1,49 \frac{\text{руб.}}{\text{шт.}}$$

Экономия на штуку

$$1,65 - 1,49 = 0,16 \text{ руб.}$$

Главная составная часть себестоимости — стоимость металла — при этом расчете не изменилась, но уменьшение стоимости на 16 коп. на штуку при выпуске, положим, 400 000 штук в год дает экономию

$$400\,000 \cdot 0,16 = 64\,000 \text{ руб./год.}$$

Чтобы получить еще большую экономию, нужно искать пути снижения чистого веса детали и повышения коэффициента использования металла [формула (21)].

В автоматической линии время обработки шатуна составляет $t_{ш} = 0,33$ мин. Вследствие введения прогрессивных методов обработки давлением вес детали уменьшился до $P = 3,5$ кг; коэффициент использования металла повысился до $\eta = 0,65$, но стоимость 1 кг металла повысилась до $c = 27$ коп./кг. Вследствие увеличения количества дорогого оборудования и стоимости обслуживания накладные расходы возросли до 400 % ($q = 4$). Остальные величины в формуле (21) остались без изменения.

Себестоимость детали

$$C = \frac{27 \cdot 3,5}{0,65} + 0,71 \cdot 0,33(1 + 4) \approx 1,31 \text{ руб.}$$

Экономия на штуку, если сравнивать стоимость шатуна по первому варианту с стоимостью его по последнему варианту, составит

$$1,65 - 1,31 = 0,34 \text{ руб.}$$

При выпуске 400 000 шт. в год экономия

$$400\,000 \cdot 0,34 = 136\,000 \text{ руб./год.}$$

Чтобы новое оборудование автоматических линий окупилось за четыре года, по формуле (67) можно найти величину допустимых затрат на новое оборудование:

$$Z = T_{ок} \cdot \Delta = 4 \cdot 136\,000 = 544\,000 \text{ руб.}$$

Для четырех автоматических линий было изготовлено 35 станков. Если считать, что в среднем стоимость одного специального станка равна 10000 руб., на станки затрачено около 350 000 руб. На изготовление нестандартного оборудования и транспортных устройств остается 194 000 руб., или около 5549 руб. на один станок, что вполне достаточно. Таким образом, изготовление автоматических линий в данном случае вполне оправдано. Если расходы на оборудование будут меньше, то соответственно уменьшится срок окупаемости линий.

Перспективы развития процессов обработки деталей класса «некруглые стержни». В серийном производстве будет развиваться изготовление стальных заготовок рычагов в закрытых штампах при сериях не меньше 30—40 штук в месяц. Возможна также замена штамповки стальным литьем по выплавляемым моделям. В массовом производстве штамповка рычагов, имеющих подходящую форму (например, шату-

нов), будет осуществляться с предварительным подкатом заготовки на профильных вальцах. При механической обработке в мелкосерийном и серийном производстве будет развиваться групповая обработка с применением групповых или универсально-сборных приспособлений (УСП). В крупносерийном и массовом производстве будет продолжаться дальнейшая автоматизация механической обработки и автоматизация сборки шатунов.

При термообработке стальных рычагов перспективно применение газового цианирования (нитроцементации), которое дает большое увеличение твердости и износоустойчивости рычагов, шатунов и вилок.

В дальней перспективе, по мере замены поршневых двигателей ротационными, производство шатунов будет сокращаться.

§13. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ НЕБОЛЬШИХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Общие сведения. По конфигурации и характеру обработки детали сложной формы можно разбить на три группы:

1) небольшие корпусные детали, как, например, корпус дизельного насоса, цилиндр небольшого компрессора, корпус карбюратора, фасонные крышки, салазки и фартуки станков и т. п.;

2) сложные фасонные детали: тройники, угольники (рис. 93, а), детали шарниров и т. п.;

3) плоские и пространственные литые и кованные детали, штампованные из листового материала: крышки (рис. 93, б), кулачки автоматов и полуавтоматов, зубчатые секторы, фасонные планки, небольшие ползуны и т. п.

Технологические задачи зависят от технических условий на изготовление, конфигурации и размера деталей каждой группы. В деталях первой группы требуется обработка плоских поверхностей, сверление мелких отверстий и нарезание в них резьбы, иногда точное растачивание отверстий. Для деталей второй группы необходимо обтачивать наружные поверхности, растачивать внутренние поверхности, наре-

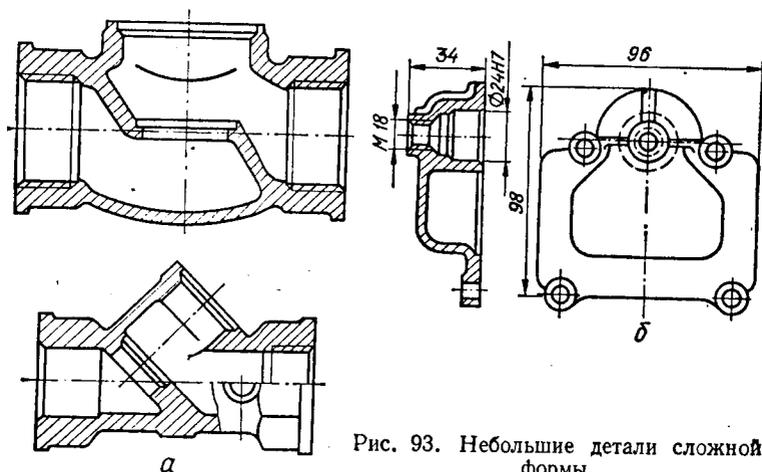


Рис. 93. Небольшие детали сложной формы.

зять соосную резьбу, выполнять фасонное обтачивание. В деталях третьей группы требуются чистовая обработка плоских поверхностей, точное растачивание отверстий, фрезерование криволинейных поверхностей, обработка фасонных поверхностей (зубьев, фасонных выемок, нарезание резьбы и т. п.).

Технические условия на изготовление определяют из функционального назначения той или иной детали. Например, технические условия на изготовление детали по рис. 93, б состоят из следующих пунктов: смещение оси резьбы M18 относительно оси диаметра 24H7 допускается не более чем 0,2 мм; неплоскостность опорного фланца — в пределах 0,1 мм; расстояния между осями крепежных отверстий должны иметь точность 0,2 мм.

Иногда детали бывают довольно сложными.

Технические условия на изготовление детали по рис. 95 требуют, чтобы расстояния осей отверстий под цилиндры отсчитывались от одной базы в пределах допуска $\pm 0,05$, оси отверстий под цилиндры и распределительный вал должны находиться на расстоянии $46 \pm 0,05$ мм от базовых отверстий.

Материал для деталей первой группы применяется разнообразный: чугун, сплавы на алюминиевой и цинковой основе, бронза. Детали второй группы изготавливают из ковкого чугуна, бронзы, латуни, иногда из стали. Детали третьей группы изготавливают преимущественно из стали и чугуна.

Заготовки деталей первой группы получают в виде отливок: в единичном и мелкосерийном производстве — при литье в песчаные формы по деревянным моделям; в серийном производстве — при литье в песчаные формы по металлическим моделям; в крупносерийном и массовом производстве — в постоянные металлические формы (кокили) и под давлением на литейных машинах (сплавы цветных металлов); отливки некоторых деталей получают также по выплавляемым моделям.

Заготовки деталей второй группы получают отливкой в песчаные формы по металлическим моделям (ковкий чугун), штамповкой из латуни или бронзы, литьем под давлением (сплавы цветных металлов).

Стальные заготовки деталей третьей группы получают из проката, чугунные — из отливок в песчаные формы по деревянным или металлическим моделям.

Припуски на обработку. В связи с применением прогрессивных методов изготовления заготовок припуски на обработку задают небольшими. При литье деталей в формы, полученные по деревянным моделям, — в пределах 4—5 мм на сторону, по металлическим моделям 3—4 мм, при литье в кокиль 2—3 мм, при литье по выплавляемым моделям и под давлением 1—2 мм.

Технологические базы. Для деталей первой группы в большинстве случаев на первых операциях в качестве баз принимают черновые внутренние полости или наружные поверхности. На последующих операциях базами служат плоскости разъема, поверхности под крышки, картеры. Кроме того, делают дополнительные базы в виде двух установочных отверстий. Для деталей второй группы на первых операциях в качестве баз принимают черновые наружные поверхности;

Таблица 43. Средние режимы резания при обработке небольших деталей из черных металлов

Переход	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Сверление отверстий диаметром до 12—16 мм	18—20	0,1—0,2
Рассверливание отверстий диаметром от 8 до 20 мм	23	0,25—0,3
Зенкерование отверстий диаметром до 20 мм	18	0,6—0,8
Развертывание черновое	6—8	0,5—0,8
Развертывание чистовое	4—6	0,8—1,0
Растачивание резцом черновое	25	0,3—0,4
Растачивание резцом чистовое	40	0,1—0,15
Фрезерование плоских поверхностей торцовой фрезой черновое	60—80	150 мм/мин
Такое же фрезерование чистовое	80—100	200 мм/мин
Шлифование плоских поверхностей торцом круга	12—15 *	—
Шлифование плоских поверхностей периферией круга	15—20 *	—
Нарезание резьбы метчиком на станке диаметром до М16	4—6	По шагу резьбы

* Скорость движения стола.

Таблица 44. Маршрут обработки корпуса топливного насоса в автоматической линии

Номер комплекса	Комплекс операций	Станки
1-й участок		
1	Черновое фрезерование торцов, чистовое фрезерование торцов	Агрегатно-фрезерный
2	Сверление с обеих сторон глубоких продольных отверстий	Агрегатно-сверлильный
3	Обработка отверстий для кулачкового валика, сверление отверстий под резьбу в каналах для подвода топлива, снятие фасок	Агрегатно-сверлильные и расточные
2-й участок		
4	Сверление и растачивание отверстий под цилиндры	Агрегатно-сверлильные и расточные
5	Фрезерование верхней и нижней плоских поверхностей	Агрегатно-фрезерные
3-й участок		
6	Фрезерование бобышек для топливоподающего насоса	То же
7	Дополнительное растачивание поясков в больших отверстиях	Агрегатно-расточные
8	Сверление мелких отверстий, снятие фасок, нарезание резьбы в отверстиях	Агрегатно-сверлильные и резьбо-нарезные

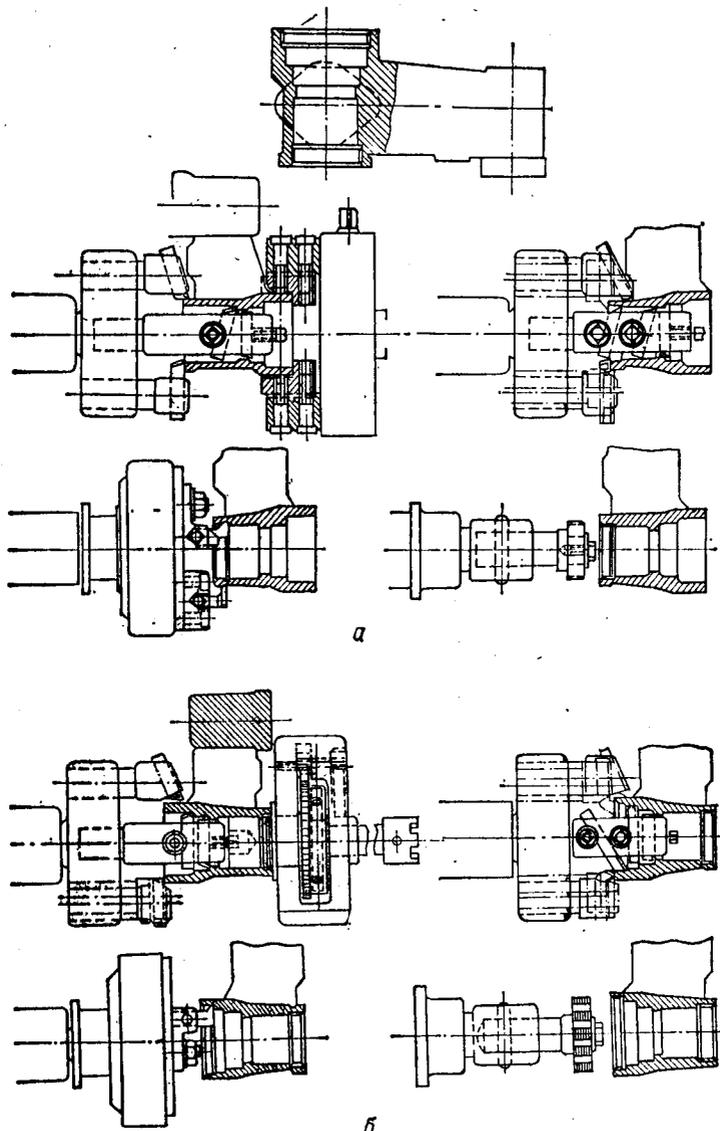


Рис. 94. Схема обработки небольшой детали на многошпиндельном полуавтомате:
 а — с одной стороны; б — с другой стороны.

на последующих операциях — удобные для установки в приспособлениях плоские и цилиндрические поверхности. Для деталей третьей группы базами служат черновые и чистовые плоские и цилиндрические поверхности.

Оптимальные режимы обработки для одноинструментной обработки аналитически рассчитывают по методике, изучаемой в курсе

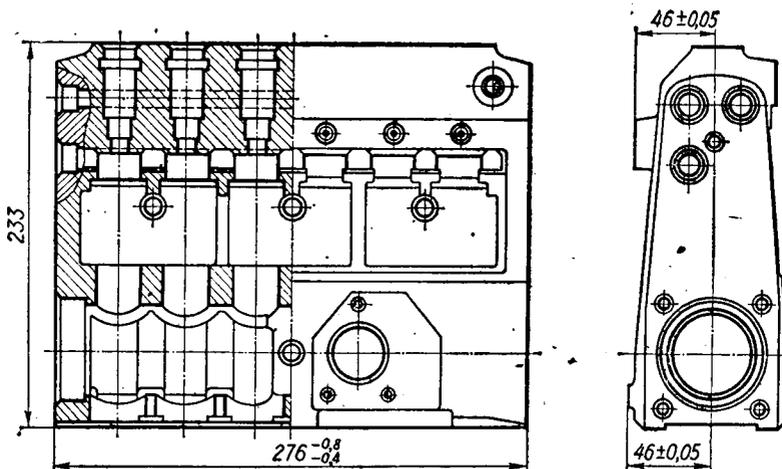


Рис. 95. Корпус топливного насоса.

учения о резании металлов, или их выбирают по нормативам [12]. Для многоинструментной обработки оптимальные режимы находят по методике, приведенной ранее. Средние режимы обработки указаны в табл. 43. Величины этих режимов резания ниже, чем средние режимы резания, приведенные в приложении 2 и применяемые в среднем машиностроении. Объясняется это тем, что 1) уменьшаются глубины резания и подачи (так как мелкие инструменты менее прочны, чем крупные, и их нельзя перегружать); 2) снижаются скорости резания, так как в ряде случаев на станках нет таких чисел оборотов в минуту шпинделя, при которых можно было бы достичь высоких скоростей обработки.

При расчете машинного времени эти величины режимов резания подставляют в соответствующие формулы приложения 2 и вычисляют новые значения коэффициентов K_i .

Процессы обработки небольших деталей сложной формы. Схема процесса обработки небольшой детали на четырехшпиндельном патронном полуавтомате показана на рис. 94. Способы установки деталей, последовательность обработки и расположение инструментов не требуют дополнительных объяснений.

Маршрут обработки более сложной детали — корпуса топливного насоса (рис. 95) в автоматической линии * — приведен в табл. 44.

Заготовка — алюминиевая отливка.

Базовые поверхности — фрезерованные бобышки и два технологических отверстия — обрабатывают вне линии. Заготовки обрабатывают в приспособлениях-спутниках, фиксируемых на каждой позиции.

Всю обработку выполняют с помощью агрегатных станков, составленных из унифицированных головок с фрезерными, сверлильными и

* Автоматическая линия для обработки этой детали построена чехословацким заводом ТОС — Куржим, Брно.

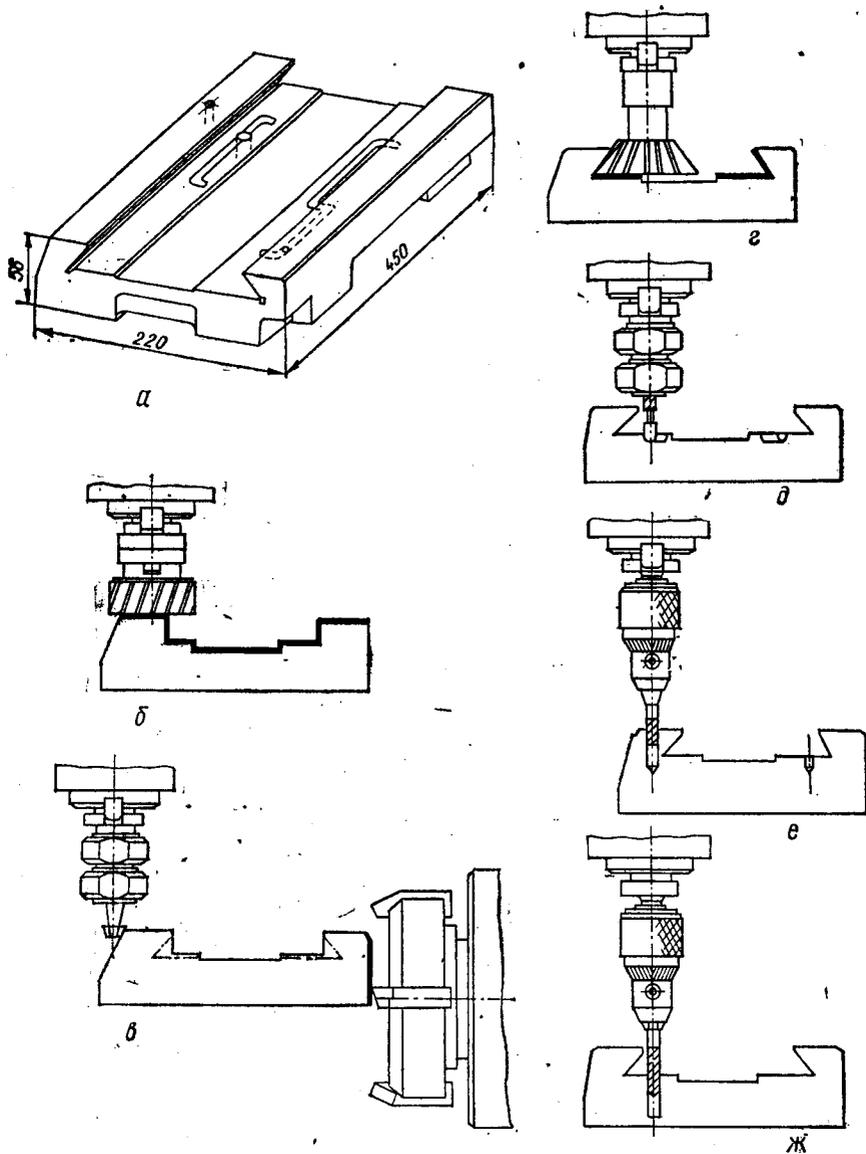


Рис. 96. Обработка на вертикально-фрезерном станке с револьверной головкой и программным управлением.

резьбонарезными шпинделями. Настройка инструментов на требуемый размер производится вне станка. Станки снабжены патронами с быстрозаменяемыми втулками для инструментов.

Для обработки сложных деталей этого класса при небольших сериях выгодно применять фрезерные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), фрезерные станки с револьверной головкой и с

Таблица 45. Маршрут обработки на вертикально-фрезерном станке с револьверной головкой и с программным управлением

Гисунок	Переход	Режим обработки	
		Скорость резания, м/мин	Подача, мм/мин
Рис. 96, б	Фрезерование горизонтальных поверхностей торцовой фрезой диаметром 60 мм	37	100
Рис. 96, в	Фрезерование вертикальной поверхности резцовой головкой диаметром 150 мм в горизонтальном шпинделе. Одновременное фрезерование фаски фрезой диаметром 20 мм в вертикальном шпинделе	31	400
Рис. 96, г	Фрезерование поверхности в форме «ласточкиного хвоста» угловой фрезой диаметром 75 мм	22	63
Рис. 96, д	Фрезерование смазочных канавок пальцевой фрезой диаметром 6 мм с закругленными режущими кромками	20	100
Рис. 96, е	Сверление смазочных отверстий диаметром 4 мм	18	0,17 мм/об
Рис. 96, ж	Сверление смазочного отверстия диаметром 8 мм	24	0,25 мм/об

программным управлением и обрабатывающие центры с программным управлением и автоматической сменой инструментов.

Маршрут обработки станочных салазок (рис. 96, а) на вертикально-фрезерном станке с револьверной головкой и программным управлением приведен в табл. 45.

Оценка трудоемкости, станкоемкости и себестоимости небольших сложных деталей производится по правилам, изученным ранее. За основу расчета принимают машинное время с учетом пониженных режимов резания, указанных в табл. 47.

§14. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «КРЕПЕЖНЫЕ ДЕТАЛИ»

В класс «крепежные детали», кроме крепежных, входят мелкие детали разнообразной конфигурации с резьбой и без резьбы. Поэтому технологические процессы обработки деталей этого класса также разнообразны и типизировать их можно только по отдельным подгруппам (болты, шпильки, гайки, штифты и пр.). Конструктивные разновидности деталей этого класса представлены на рис. 97.

В современном производстве значительную часть крепежных деталей получают со специализированных заводов, где их изготавливают в больших количествах, применяя наиболее производительную технологию. Поэтому стоимость крепежных деталей в современной машине относительно невелика и составляет около 4 % стоимости машины. Однако часть крепежных деталей приходится изготавливать непосредственно на заводах-изготовителях машин, хотя их стоимость значительно выше, чем на специализированных. Поэтому для изготовления

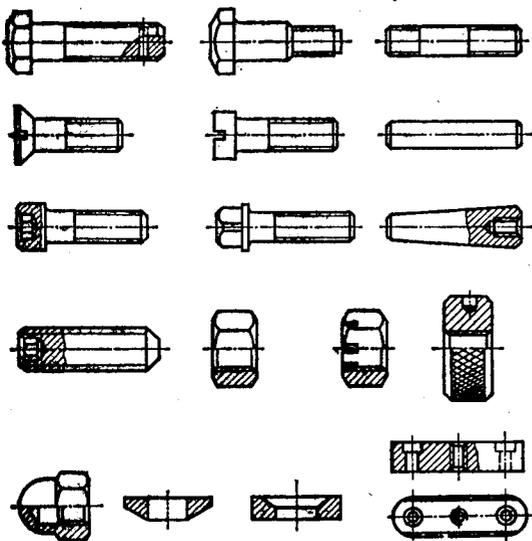


Рис. 97. Крепежные детали.

крепежных деталей даже на неспециализированных заводах следует применять высокопроизводительную технологию.

Оборудование и методы изготовления крепежных деталей. Такие детали, как болты, винты, гайки, в серийном производстве изготовляют на револьверных станках, в крупносерийном — на токарно-револьверных автоматах, в массовом — на многошпиндельных автоматах. В массовом производстве для получения полностью готовых деталей или достаточно точных заготовок с небольшой последующей механической

обработкой применяют также холодно- и горячевысадочные автоматы.

На болтах и винтах резьбу получают на высокопроизводительных резьбонакатных станках после высадки головок.

Изготавливая крепежные детали в больших количествах, применяют производительные методы обработки на автоматических линиях. Автоматическая линия для изготовления болтов, составленная из холодновысадочного автомата и резьбонакатного станка, показана на рис. 98.

Технологические процессы изготовления мелких крепежных деталей других типов проектировать нетрудно. Их обрабатывают по довольно простой технологии. Штифты, например, обтачивают из прутка на револьверных станках или одношпиндельных автоматах, затем (часто после термообработки) шлифуют на бесцентрово-шлифовальных станках.

Детали такого типа, как шайбы, в серийном производстве изготовляют на вырубных прессах, в массовом — на прессах-автоматах.

Оценка трудоемкости, станкоемкости и себестоимости крепежных деталей производится по общим правилам, приведенным в гл. I. Пример расчета оптимальной производительности и стоимости обработки деталей на многошпиндельных автоматах приведен в табл. 39 и 40.

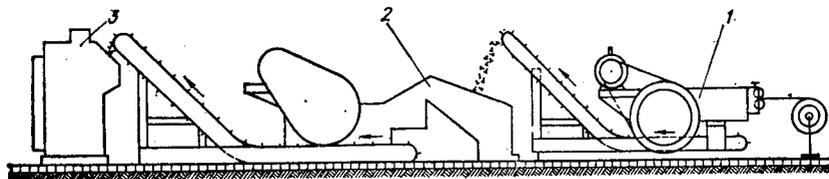


Рис. 98. Автоматическая линия для изготовления болтов:

1 — автомат для холодной высадки головок; 2 — пресс-автомат для обрезки заусенцев; 3 — автомат для накатывания резьбы.

§15. ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В общей классификации типичных деталей машиностроения в отдельные группы внесены детали, имеющие сходную конфигурацию, на основе которой можно применять типовые методы обработки. Однако есть ряд деталей, которые и по конфигурации, и по методам, применяемым для производства таких деталей, не подходят ни к одному классу типичных деталей. Они составляют группу специальных деталей, каждый тип которых обрабатывается по специфической технологии.

Детали, не охваченные общей классификацией, показаны на рис. 99. К этим деталям относятся: коленчатые валы поршневых двигателей, компрессоров и прессов, поршни двигателей внутреннего сгорания, лопатки паровых и газовых турбин, роторы газовых турбин и пр.

Обработка коленчатых валов. По конструкции коленчатые валы делят на цельные и составные. Цельные валы применяют в автотракторных и авиационных поршневых двигателях, в средних стационарных и передвижных двигателях внутреннего сгорания, компрессорах, эксцентриковых прессах. Составные валы применяют в крупных судовых и стационарных двигателях внутреннего сгорания. Их изготавливают в незначительных количествах.

Основные технологические задачи — получить соосные коренные шейки высокой точности, точные шатунные шейки, расположенные под соответствующими углами одна относительно другой и на одинаковом расстоянии от оси коренных шеек, достичь достаточно хорошей уравновешенности всего вала при вращении вокруг оси коренных шеек.

Технические условия на коленчатые валы тракторных двигателей регламентируются ГОСТ 24377—80.

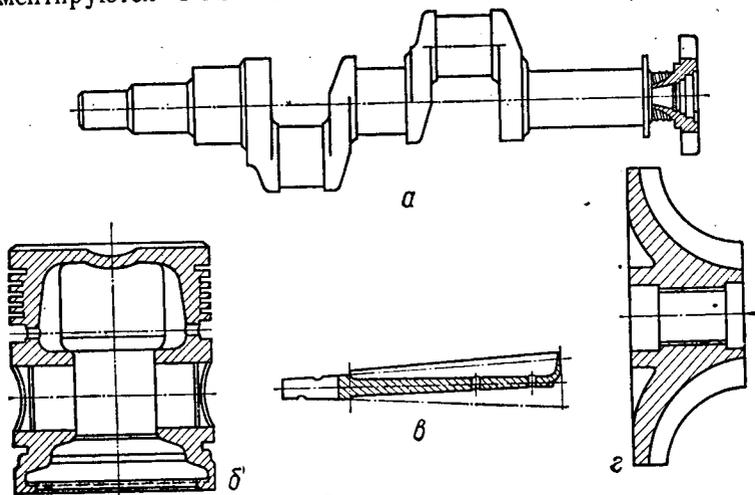


Рис. 99. Специальные детали:

а — коленчатый вал; б — поршень; в — лопатка паровой турбины; г — ротор газовой турбины.

Таблица 46. Основные технические условия * на изготовление коленчатых валов для автотракторных двигателей

Показатель	Автомобильные двигатели	Тракторные двигатели
Точность диаметров шеек	6-й квалитет	6-й квалитет
Шероховатость R_a	0,16 мкм	0,32 мкм
Овальность шеек	0,006—0,01	Не больше 0,015
Конусообразность шеек	0,01 на длине шейки	0,03 на длине 100 мм
Огранка шеек	0,004—0,008	0,005—0,01
Непараллельность осей шатунных и коренных шеек	0,01 на длине шейки	0,02—0,03 на 100 мм длины
Допуск на расстояние между осями коренных и шатунных шеек (радиус кривошипа)	0,08—0,015	0,1—0,2
Твердость закаленных шеек	HRC 52—62	HRC 50—60
Точность динамической балансировки	15 г·см	30—40 г·см

* Размеры даны в миллиметрах.

Основные технические условия приведены в табл. 46 (размеры даны в миллиметрах).

Материалы. Автотракторные валы изготавливают преимущественно из стали 45 и 45Г2 по ГОСТ 1050—74. Некоторые автомобильные валы изготавливают из хромоникелевой стали. Валы для средних и крупных двигателей внутреннего сгорания — из стали 45, литые — из модифицированного чугуна. Тяжелонагруженные валы крупных судовых двигателей и валы авиационных двигателей — из хромоникелевых сталей.

Заготовки для автотракторных валов получают в закрытых штампах; для средних двигателей внутреннего сгорания — в подкладных штампах, литые — в песчаных формах. Заготовки для стальных валов крупных двигателей получают свободной ковкой под молотом, для чугунных валов — литьем в специальные формы.

Припуски на обработку из-за сложности конфигурации коленчатых валов больше, чем для ступенчатых валов.

При штамповке в закрытых штампах припуск находится в пределах 3—4 мм на сторону (у автотракторных валов часть поверхностей не обрабатывается). При штамповке в подкладных штампах (длина вала до 1000 мм и диаметр шеек 50—60 мм) припуск составляет 10—15 мм на сторону. У литых автомобильных валов припуск на обработку шеек 2—3 мм на сторону. При свободной ковке вала длиной 3000 мм и диаметром шеек 150 мм припуск составляет 25—32 мм и больше.

Технологические базы. Черновыми базами служат необработанные коренные шейки. После фрезерования торцов и центрования токарную обработку заготовки ведут по центровым отверстиям. Шатунные шейки обрабатывают на базе обточенных и предварительно шлифованных коренных шеек. Обрабатывают также вспомогательные базы в виде площадок на щеках вала. Эти площадки необходимы для уло-

вой координации вала на нескольких операциях (обточка, шлифование и сверление шатунных шеек).

Основные операции — это обточка, шлифование и отделка коренных и шатунных шеек, обработка поверхностей щек и фланца, сверление маслопроводных каналов, термообработка шеек и балансирование вала.

Второстепенные операции — сверление отверстий во фланце, фрезерование шпоночных канавок, нарезание мелких резьб.

Погрешности установки могут возникать из-за неправильного центрирования вала, дефектов центровых отверстий, неравномерных припусков при установке по черновой базе, из-за приложения больших осевых сил при зажатии в центрах.

Погрешности обработки возникают от недостаточной жесткости станка и приспособления, плохого уравнивания вращающихся зажимных приспособлений (патронов), неравномерных сил резания, вследствие неравномерных припусков, износа инструментов, неравномерной структуры материала вала, недостаточной жесткости вала.

Последовательность обработки коленчатых валов и применяемое оборудование. При рассмотрении методов обработки коленчатых валов в качестве типовой детали принят вал для изготовления в поточной линии (рис. 99, а). Заготовка — штамповка из стали 45. После кузнечной обработки заготовка проходит термическую обработку — нормализацию. При термической обработке происходит коробление вала. Поэтому после нее заготовку правят на прессах. Правку выполняют неоднократно и в процессе механической обработки (5—8 раз) после всех операций, при выполнении которых возможна деформация вала (обтачивание, закалка и т. д.).

Из-за большого количества операций при обработке вала обработка здесь рассматривается по комплексам операций:

1. Фрезеруют торцы и сверлят центровые отверстия. Операции выполняют или порознь на продольно-фрезерных и центровальных станках, или одновременно на фрезерно-центровальных полуавтоматах. Применяют также комбинированные балансировочно-центровые станки. Центровые отверстия в этом случае образуются на оси инерции заготовки, что облегчает в дальнейшем окончательную балансировку вала.

2. Предварительно обрабатывают коренные шейки на специальном полуавтомате. Сначала обтачивают третью шейку и шлифуют ее, затем обтачивают вторую и четвертую коренные шейки. Припуск на шлифование оставляют 0,4—0,5 мм на сторону.

3. Предварительно обтачивают концы вала (с фланцем на одной стороне и ступенчатой частью на другой), совмещая соответственно с обточкой пятой и первой коренных шеек на специальном полуавтомате.

4. Исправляют центровые отверстия на центровальном станке, чтобы повысить точность обработки на последующих операциях. Это необходимо потому, что после предварительной обработки с тяжелыми режимами резания центровые отверстия деформируются.

5. Предварительно шлифуют шейки, так как в дальнейшем они служат технологическими базами. Наиболее производительный способ

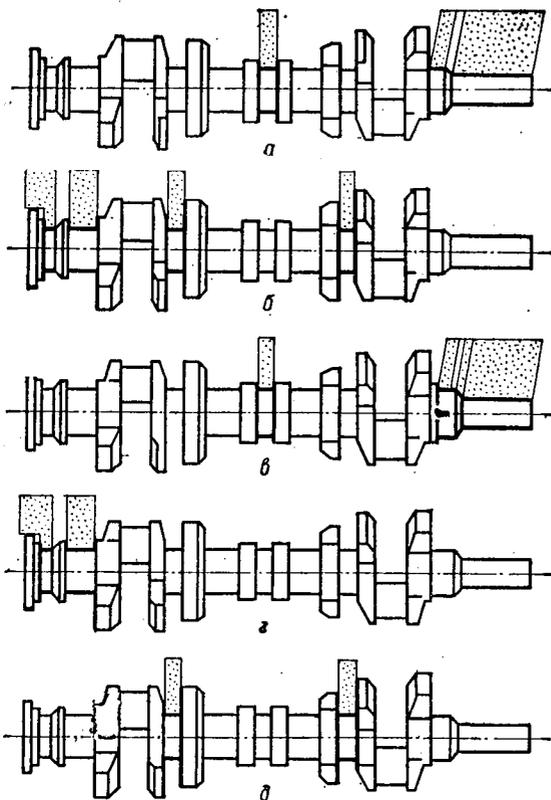


Рис. 100. Шлифование коренных шеек коленчатого вала на многокаменных автоматах:

а, б — предварительное шлифование шеек, торцов хвостовика и фланцев; *в, г, д* — окончательное шлифование.

базирующих коренных шеек относительно оси вращения на величину радиуса кривошипа. При этом требуется и угловая координация кривошипа в плоскости, перпендикулярной к оси вращения шпинделя станка, для чего используют профрезерованные ранее площадки.

8. Предварительно шлифуют шатунные шейки на двухкаменных станках. Угловая координация шеек производится по дополнитель-

предварительного шлифования коренных шеек — это шлифование на многокаменных автоматах (рис. 100).

6. Обрабатывают дополнительные базы в виде фрезерованных площадок (рис. 101) на специальном фрезерном станке для угловой координации вала при обтачивании и шлифовании шатунных шеек и сверлении в них отверстий.

7. Обтачивают шатунные шейки на станках для обтачивания одной шейки (наиболее точный метод) или на специальных двухпозиционных станках (наиболее производительный метод). В обоих случаях базой служат коренные шейки. При обтачивании шатунных шеек необходимо совмещать их оси поочередно или попарно с осью вращения шпинделя токарного станка. Это достигается смещением

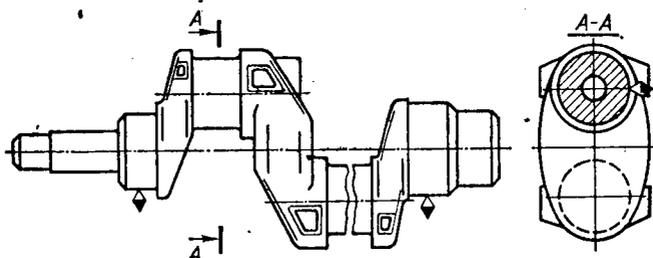


Рис. 101. Фрезерование дополнительных баз.

ным базам (фрезерованным площадкам) на щеках колен.

9. Сверлят глубокие маслопроводные отверстия на агрегатно-сверлильных станках с автоматическим многократным выводом сверл. Базирование — по коренным шейкам, угловая координация — по базам (фрезерованным площадкам).

10. Коренные и шатунные шейки закаливаются до твердости, требуемой техническими условиями (табл. 46). Нагрев под закалку производится токами высокой частоты (ТВЧ) в специальной установке. Коленчатый вал при закалке вращается. Охлаждающая жидкость подается под давлением 3—4 атм.

11. Шлифуют коренные шейки и правят вал.

12. Окончательно шлифуют коренные шейки, концы вала и фланец. Обе операции выполняют на многокаменных шлифовальных станках на центрах. Процесс разделяют на две части, чтобы уменьшить деформацию вала при шлифовании.

13. Окончательно шлифуют шатунные шейки так же, как при операции 8. Наибольшей точности шатунных шеек достигают при последовательном шлифовании каждой шейки.

14. Сверлят, зенкуют, зенкеруют, развертывают отверстия во фланце на агрегатно-сверлильном станке (рис. 102); фрезерование шпоночных канавок выполняют на вертикально-фрезерном или шпоночно-фрезерном станке.

15. Балансируют вал на специальных автоматах, состоящих из балансировочного автоматического устройства и головки для высверливания металла, подлежащего удалению.

16. Предварительно и окончательно растачивают центральное отверстие во фланце и отверстие на другом конце вала на многопозиционном станке. Пример выполнения этой операции показан на рис. 102.

17. Окончательно обрабатывают торец фланца и полируют отверстия в нем под подшипник на специальных станках.

18. Обкатку галтелей шатунных шеек делают в специальном приспособлении профильными роликами. Обкатываются одновременно обе галтели.

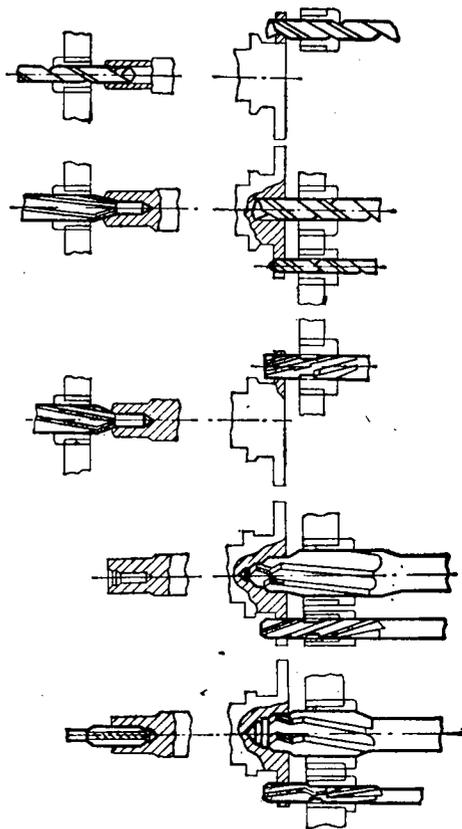


Рис. 102. Схема обработки концов коленчатого вала.

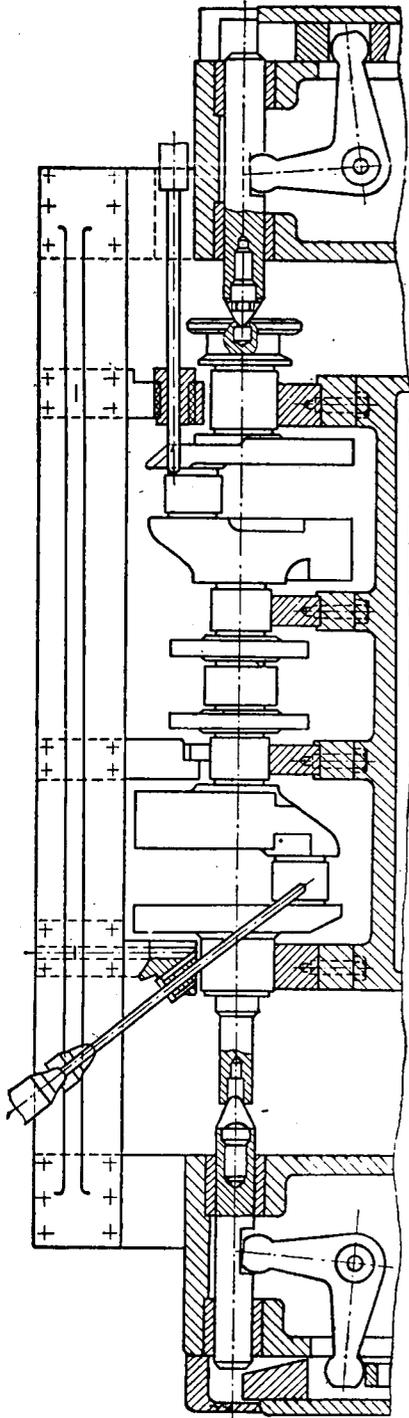


Рис. 103. Схема сверления масляроводных каналов.

Эту операцию выполняют для упрочнения галтелей и повышения предела усталости при изгибе вала в местах наибольшей концентрации напряжений.

19. Выполняют предварительное и окончательное суперфиниширование всех шеек на специальных станках брусками из электрокорунда с зернистостью 6—М40. Припуск для предварительной обработки 0,015—0,025 мм, для окончательной 0,002—0,005 мм.

По рассмотренным комплексам операций составлен маршрут обработки коленчатого вала (табл. 47).

Автоматизация обработки коленчатых валов. Вследствие сложности конструкции коленчатых валов и большого количества разнообразных технологических операций изготовление таких валов автоматизируют, создавая отдельные автоматические участки линии. Такие линии создают для 1) токарной обработки коренных и шатунных шеек; 2) сверлильно-фрезерных операций; 3) шлифования шеек; 4) динамического балансирования.

На первую линию валы поступают с фрезерованными и зацентрованными торцами и фрезерованными базовыми площадками на щеках.

На второй линии производится последовательно: обработка отверстий фланца, сверление отверстий в шатунных шейках, сверление наклонных масляных каналов (рис. 103), фрезерование шпоночных пазов, нарезание резьбы в отверстиях шатунных шеек и конца вала. Линия состоит из агрегатных станков с силовыми головками. Коренные шейки шлифуют вне линии на много-

Таблица 47. Маршрут обработки коленчатого вала

Номер комплекса	Комплекс операций	Оборудование	Технологическая база
V 1	Фрезерование торцов и сверление центровых отверстий	Фрезерально-центровальный полуавтомат	Черновые поверхности коренных шеек
2	Предварительная обработка коренных шеек	Специализированный токарный полуавтомат. Круглошлифовальный станок	Центровые отверстия
3	Предварительное обтачивание концов вала	Токарный полуавтомат	То же
4	Перецентровка концов вала	Центровальный станок	Коренные шейки
5	Предварительное шлифование коренных шеек	Специальный шлифовальный станок	Центровые отверстия
6	Фрезерование вспомогательных баз (площадок на щеках)	Специальный фрезерный станок	Коренные шейки
7	Обтачивание шатунных шеек	Специальный токарный полуавтомат	» »
8	Шлифование шатунных шеек предварительное	Специальные двухкаменные шлифовальные станки	» »
9	Сверление маслопроводных отверстий и других мелких отверстий в шатунных шейках и щеках, нарезание резьбы в шатунных шейках	Агрегатно-сверильные и резьбо-нарезные станки	Коренные шейки и вспомогательные базы
10	Термическая обработка — закалка шеек с нагревом ТВЧ	Специальная установка	Центровые отверстия
11	Получистовое шлифование коренных шеек	Многокаменные шлифовальные автоматы	То же
12	Окончательное шлифование коренных шеек, концов вала и фланца	То же	» »
13	Окончательное шлифование шатунных шеек	Специальный шлифовальный станок	Коренные шейки
14	Сверление восьми отверстий во фланце, фрезерование шпоночных канавок	Специальный сверильный станок, шпоночно-фрезерный станок	» »
15	Балансировка	Балансировочный автомат	Центровые отверстия
16	Предварительное и окончательное растачивание центрального отверстия во фланце и отверстия на другом конце вала	Специальный многопозиционный станок	Коренные шейки
17	Окончательное шлифование торца фланца и полирование отверстия	Специальный шлифовальный станок	» »
18	Обкатка гайтелей шеек	Токарный станок со специальным приспособлением	» »
19	Предварительное и окончательное суперфиниширование шеек	Специальный станок для суперфинишной отделки	Центровые отверстия

Примечание. В маршрут не внесены мелкие операции, а также правка, мойка и контроль.

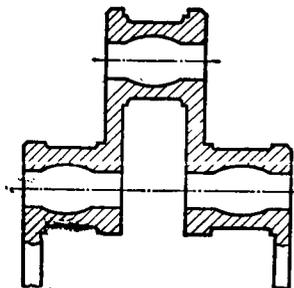


Рис. 104. Конструкция шеек коленчатого вала тепловозного двигателя.

каменных станках с автоматическим режимом врезного шлифования и активным контролем.

На третьей линии шлифуют шатунные шейки. Линия состоит из четырех автоматов, на каждом из которых шлифуется одна шейка.

На четвертой линии выполняют динамическое балансирование вала. Линия состоит из балансировочных автоматов, сверлильных станков и контрольного автомата. Неуровненность после автоматической балансировки не превышает 30 г · см.

Обработка тяжелых коленчатых валов. К тяжелым относится коленчатый вал (пустотелый) тепловозного двигателя длиной около 4 м. Вал имеет 10 шатунных шеек диаметром 170 мм и 12 коренных — диаметром 204 мм. Конструкция вала показана на рис. 104.

Технические условия (они взяты по данным одного из заводов) на изготовление вала следующие:

	мм
Допуск на обработку шеек по диаметру	0,02
Овальность и конусообразность шеек, не больше	0,02
Шероховатость	0,63—0,32 мкм
Допуск на радиус кривошипа	0,1
Перекося шатунных шеек относительно коренных	0,02
Биеение коренных шеек по всей длине вала, не больше	0,03

Материал — модифицированный чугун с содержанием углерода 2,2—2,4 %, легированный молибденом, хромом и никелем.

Заготовка — литая. Чугун заливают в опоки в горизонтальном положении. Опоки находятся на специальном кантователе. После заливки опоки поворачивают кантователем на угол 90°, для того чтобы кристаллизация материала вала происходила в вертикальном положении. Поскольку отливка пустотелая, с малыми припусками на обработку, то коэффициент использования металла в 3 раза больше, чем при изготовлении валов такого же размера из кованой заготовки.

Припуски на обработку. Обрабатываются только коренные и шатунные шейки. Литейный припуск — в пределах 5—6 мм на сторону.

Технологические базы меняются последовательно: черновые коренные шейки, центровые отверстия, обточенные коренные шейки и специально расточенные в торцах конусные отверстия под конусные пробки. Шлифовальная обработка производится на конусных пробках. Технологический маршрут приведен в табл. 48.

Обработка поршней автотракторных двигателей. Поршень представляет собой образец детали с пересекающимися осями главных рабочих поверхностей — наружной поверхности и отверстия под поршневой палец (рис. 99, б). Элементы, общие для поршней всех видов, — это канавки под поршневые кольца, отверстия под поршневой палец, сквозные отверстия в канавках под маслосбрасывающие кольца. Поршни различают по форме днища, конструкции и расположению внутренних ребер жесткости, форме нижней части и некоторым мелким элементам.

Таблица 48. Маршрут обработки коленчатого вала тепловозного двигателя

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Фрезерование торцов	Продольно-фрезерный станок	Коренные шейки
2	Центрование	Токарный станок с люнетом	» »
3	Предварительная обточка коренных шеек	Двухсуппортный токарный станок с люнетом	Центровые отверстия
4	Предварительная обточка шатунных шеек (вал неподвижный, шейки обтачиваются вращающейся головкой)	Специальный токарный станок	Коренные шейки
5	Термическая — высокий отпуск для снятия внутренних напряжений	—	—
6	Гамма-дефектоскопия	—	—
	Управление процессом — дистанционное. Результаты записываются на пленку. Выявляются раковины, рыхлоты, включения	Аппарат для гамма-дефектоскопии	—
7	Чистовая обточка коренных шеек (как на 3-й операции)	Двухсуппортный токарный станок	Центровые отверстия
8	Чистовая обточка шатунных шеек (как на 4-й операции)	Специальный токарный станок	Коренные шейки
9	Растачивание конусов на концах вала под конусные пробки	Токарный станок с люнетом	» »
10	Статическая балансировка перед шлифованием	Специальный стенд	» »
11	Снятие дисбаланса	Продольно-фрезерный станок	» »
12	Шлифование коренных шеек при установке вала в люнетах	Специальный шлифовальный станок	Коренные шейки попеременно
13	Слесарная. Установка конусных центровых пробок	—	—
14	Шлифование шатунных шеек	Специальный станок	Центровые пробки
15	Слесарная. Съем центровых пробок	—	—
16	Нарезание резьбы для заглушек в конусных отверстиях, ввинчивание заглушек, подрезка торцов вала	Токарный станок с люнетом	Коренные шейки
17	Фрезерование шпоночных канавок	Шпоночно-фрезерный станок	» »
18	Сверление отверстий во фланце по кондуктору	Горизонтально-расточный станок	» »
19	Сверление отверстий под маслопроводные трубки	То же	» »
20	Слесарные операции	—	—
21	Контроль	—	—

Верхнюю часть поршня называют «головкой», нижнюю — «юбкой». Диаметр головки меньше диаметра юбки, так как головка при работе двигателя находится в зоне наивысших температур и расширяется больше, чем юбка. В поперечном сечении юбка проектируется круглой или эллиптической, в продольном — цилиндрической или конической. В области отверстий под поршневой палец делают выемки («холодильники»), чтобы поршень не защемлялся при расширении его от нагревания. Днища поршней проектируют различной формы — плоской, выпуклой, вогнутой, фасонной, сферической. В канавках под маслоъемные кольца есть по 10—12 сквозных маслоотводных отверстий диаметром до 5 мм.

Главные технологические задачи — получение точной наружной поверхности, точных канавок под поршневые кольца, точного отверстия под поршневой палец, ось которого должна быть перпендикулярна к оси наружной поверхности поршня, выход поршня после обработки с весом в пределах, заданных техническими условиями.

Технические условия на изготовление поршней должны соответствовать ГОСТ 654—81.

Технические условия на изготовление поршней

Точность наружного диаметра	6-й квалитет
Точность отверстия под палец	То же
Неперпендикулярность оси отверстия под палец к оси поршня	0,035 мм на длине 100 мм
Смещение оси отверстия под палец от оси поршня	До 0,25 мм
Овальность цилиндрической наружной поверхности	0,02 мм
Конусообразность этой поверхности	0,02 мм
Овальность отверстия под палец	0,5 поля допуска на отверстие
Конусообразность отверстия под палец	В тех же пределах
Неперпендикулярность торцовых поверхностей канавок к оси поршня	0,07 мм на длине 25 мм
Допуск по весу одного комплекта поршней	10 г

Так как поршни работают в тяжелых условиях (высокие температура и давление, скорости движения, знакопеременная нагрузка), то, кроме общих требований по ГОСТ, к поршням предъявляются еще и дополнительные технические требования, установленные на основе эксплуатационной практики.

Дополнительные технические условия

Сортировочный допуск и размер отверстия под палец при сортировке по трем размерным группам	0,005 мм
Точность расстояния оси отверстия под палец от днища поршня	0,1—0,3 мм
Точность размера ширины поршневых канавок	6-й квалитет
Разностенность по цилиндрической части поршня	0,5—0,7 мм

Материал. Для поршней отечественных автотракторных двигателей и быстроходных компрессоров применяют алюминиевый сплав по ГОСТ 2685—75; для поршней тяжелых компрессоров — чугун СЧ18-36, ГОСТ 1412—79.

Заготовки. В основном это отливки в кокиль. В некоторых случаях (например, при камерах сгорания специальной формы) применяют штампованные заготовки. Точность штампованных заготовок в по-

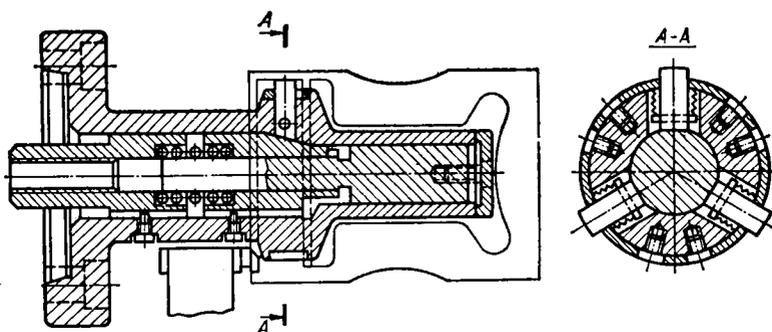


Рис. 105. Схема обработки поршня на первой операции.

следних случаях выше, чем отливок в кокиль, но стоимость получаемых из них поршней выше.

Припуски на обработку у литых заготовок получаются в пределах 1,2—1,5 мм, у штампованных — 1,0—1,3 мм на сторону.

Технологические базы. Черновая база — внутренние необработанные поверхности, чистовые базы на некоторых операциях — это наружная поверхность и днище поршня. Больше всего операций выполняется на дополнительных базах — расточенном пояске в юбке поршня и прилегающем к нему торце. Иногда делается центровое отверстие в днище поршня. При обработке в автоматической линии принято базирование поршней в приспособлениях-спутниках по двум полуотверстиям в пояске юбки и центральному отверстию на днище.

Последовательность обработки поршней и оборудование, применяемое в поточных линиях. Обработку поршней выполняют в такой последовательности: 1. Обтачивают наружную поверхность и днище. Установку заготовки на специальной разжимной оправке на многолезцовом станке показана на рис. 105. Наружную поверхность поршня обтачивают резцами переднего суппорта, днище — резцом заднего суппорта при поперечной подаче. Снимают припуск 0,5—0,7 мм на сторону.

2. Растачивают базисный поясок и подрезают торец юбки. Поршень устанавливают на днище и зажимают по наружной поверхности. На специальных вертикально-расточных станках растачивают поясок начерно и подрезают торец, затем поясок растачивают начисто и снимают на нем фаски.

3. Растачивают предварительно отверстие под палец. Базирование поршня осуществляется по пояску и торцу юбки. Угловая координация оси отверстия производится по наружной поверхности прилива под палец. На этой операции целесообразно применять агрегатный станок для одновременной обработки отверстий с двух сторон (рис. 106).

4. Места под канавки обтачивают резцом, закрепленным на переднем суппорте многолезцового токарного станка. Канавки прорезают комплектом резцов на заднем суппорте с поперечной подачей. Если выпускают большое количество поршней, применяют специальные полуавтоматы. Переходы обработки на таком станке показаны на рис. 107.

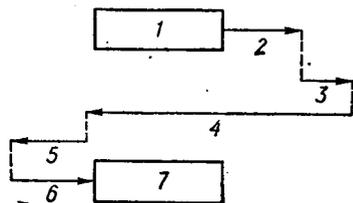
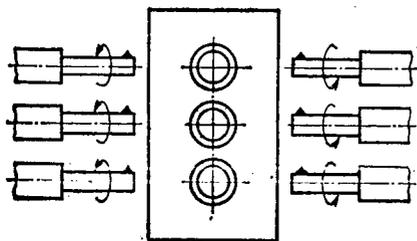


Рис. 106. Схема движения стола:
 1 — установка заготовки; 2 — быстрый подвод; 3 — предварительное растачивание; 4 — быстрый отвод; 5 — окончательное растачивание; 6 — быстрый отвод; 7 — снятие деталей.

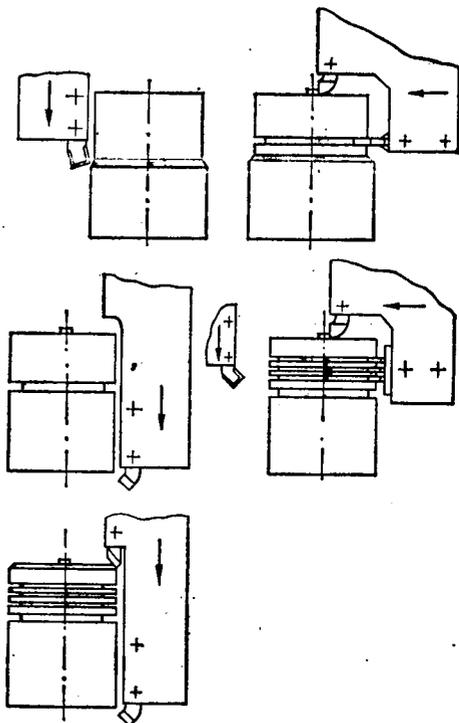


Рис. 107. Схема обработки поршня на многошпиндельном полуавтомате.

5. Сверлят отверстия в верхней и нижней канавках на малых агрегатных сверлильных станках или на специальных сверлильных автоматах с загрузкой поршней из магазина.

6. Наружную поверхность шлифуют на бесцентрово-шлифовальных станках при цилиндрической или конической форме юбки в продольном сечении и при круглой форме — в поперечном сечении. При эллиптическом поперечном сечении юбки шлифуют поршень, с угловой ориентацией поршня по отверстию под палец.

7. Для облегчения сборки поршневых колец с поршнем на кромках канавок снимают небольшие фаски на операционном токарном станке.

8. Подрезают днище поршня начисто также на операционном токарном станке.

9. Растачивают отверстие под палец предварительно на горизонтальном расточном станке. Окончательно растачивают отверстие на последующих операциях, чтобы избежать деформаций его в связи с другими операциями механической обработки.

10. Растачивают канавки в отверстии под палец на таком же станке, какой указан в п. 9. Иногда операции, указанные в пунктах 9 и 10, выполняют на многопозиционном станке.

11. Фрезеруют выемку в днище поршня на специальном операционном станке. Если выемок в днище нет и днища представляют собой плоскую, выпуклую или вогнутую поверхность, то поршни с такими днищами удобнее обтачивать на токарном станке.

Таблица 49. Маршрут обработки автотракторных поршней в поточной линии

Номер операции	Операция	Станок	Технологическая база
1	Обтачивание наружной поверхности и днища	Токарный многорезцовый	Внутренняя поверхность
2	Растачивание пояса и подрезание торца юбки	Вертикально-расточный	Наружная поверхность и днище
8	Предварительное растачивание отверстия под палец	Вертикально-сверлильный	Поясок и торец
4	Обтачивание мест под канавки и прорезание канавок	Токарный многорезцовый	То же
5	Сверление отверстий в верхней и нижней канавках	Специальный агрегатно-сверлильный	» »
6	Шлифование наружной поверхности	Бесцентрово-шлифовальный	Наружная поверхность
7	Снятие фасок на кромках канавок	Токарный операционный	Поясок и торец
8	Подрезание днища чистовое	То же	Поясок, торец и отверстие под палец
9	Получистовое растачивание отверстия под палец	Многопозиционный, горизонтально-расточной	Поясок и торец
10	Растачивание канавок в отверстии под палец	То же	То же
11	Фрезерование выемки в днище (если требуется по чертежу)	Специальный фрезерный	» »
12	Сверление наклонных отверстий в верхнем и нижнем поясах	Специальный агрегатно-сверлильный	» »
13	Окончательное растачивание отверстия под палец	Двусторонние станки для тонкого растачивания	» »
14	Калибрование канавок	Операционный токарный	Поясок, торец, отверстие под палец
15	Фрезерование или обтачивание холодильников	Операционно-фрезерный или токарный	То же
16	Подгонка и сортировка по весу	Специальный полуавтомат, сортировочный автомат	Торец
17	Подготовка к контролю и упаковке (промывка, контроль, сортировка, консервация)	—	—

Примечание. Не включены в маршрут мелкие операции (снятие фасок, зачистка заусениц и пр.).

12. Сверлят наклонные отверстия в верхнем и нижнем поясах поршня на малых многошпиндельных агрегатных станках или на агрегатно-сверлильных автоматах с загрузкой поршней из магазина.

13. Окончательно растачивают отверстия под палец на двухстороннем станке для тонкого растачивания. Схема движений стола при растачивании отверстий показана на рис. 106. Отверстия растачивают борштангами при движении стола вправо и влево. Припуск на предварительное растачивание 0,3—0,4 мм, на окончательное растачивание 0,2—0,3 мм. Скорость резания 300—500 м/мин; скорость подачи 0,02—0,06 мм/об.

14. Калибруют канавки под поршневые кольца на операционном токарном станке. Размер канавки выполняется в пределах 6-го качества.

15. Обрабатывают холодильники специальной фрезой или резцом по копиру на операционных станках.

16. Подгоняют по весу поршни на специальном полуавтомате за счет снятия резком или фрезой лишнего металла в нижней части юбки (за пояском). Точность подгонки по весу 2 г. Сортировка по весу выполняется на специальных автоматах.

Выполняют также комплекс операций по подготовке к контролю и упаковке поршей (если их изготавливают в качестве запасных частей).

Технологический маршрут обработки поршей в поточной линии на основе приведенных выше соображений представлен в табл. 49.

Автоматизация обработки поршей. При частичной автоматизации обработки используют полуавтоматы и автоматы с высокой концентрацией операций. При этом значительная часть операций, выполняемая в поточных линиях на различных станках, совмещается. Их выполняют на одном автомате или полуавтомате. Для примера на рис. 107 приведена схема первичной обработки поршня на многошпиндельном полуавтомате. До этой операции обработаны базовые поверхности (поясок и торец) и просверлены отверстия под палец. На полуавтомате обтачивают поршень по верху, подрезают днище, прорезают канавки под поршневые кольца, снимают фаски на канавках и т. п. Поршень закрепляют на планшайбе через отверстие под палец.

Автоматизируется также предварительная обработка отверстия под палец и растачивание в нем канавок под стопорные кольца. Схема движений стола при тонком растачивании отверстия под поршневой палец показана на рис. 106.

В отечественной практике созданы также автоматические линии станков для частичной и полной обработки поршей. Первый в мире завод-автомат по производству автомобильных поршей создан в СССР. На этом заводе автоматизированы все процессы изготовления поршей — отливка заготовок в кокили, механическая обработка, контроль, сортировка, консервация и упаковка.

Механическая обработка происходит следующим образом. На отдельном станке вне линии подрезают торец юбки, сверлят и развертывают два установочных полуотверстия в пояске поршня.

На автоматической линии поршни помещаются в приспособления-спутники и обрабатываются на семи позициях линии в следующем порядке:

- 1) предварительно растачивается отверстие под палец и центруется днище;
- 2) предварительно обтачивается юбка, подрезается днище и протачивается канавка под поршневые кольца;
- 3) фрезеруется горизонтальная прорезь;
- 4) начисто обтачивается наружная поверхность и калибруются канавки;
- 5) сверлятся маслоотводные отверстия;
- 6) предварительно шлифуется наружная поверхность;
- 7) отрезается центровая бобышка и фрезеруется наклонная прорезь.

Затем поршни подаются в автомат для подгонки по весу и шлифуются окончательно на бесцентрово-шлифовальном станке. После автоматического лужения производится тонкое растачивание отверстия под палец, растачивание канавок под стопорные кольца, развертывание и хонингование отверстия под палец на специальном станке. После окончания механической обработки поршни промывают в моечной машине, измеряют контрольным автоматом, автоматически консервируют и упаковывают в коробки.

Обработка лопаток паровых и газовых турбин. Наиболее многочисленными деталями паровых и газовых турбин являются лопатки. Количество лопаток на одну турбину составляет 1500—3000 штук. Поэтому даже при серийном производстве турбин производство лопаток должно быть крупносерийным и массовым.

Лопатки турбин представляют собой детали с пониженной жесткостью с криволинейными точными поверхностями, требующими сложной обработки (рис. 108).

Лопатки разделяют на направляющие (неподвижные) и рабочие (вращающиеся с ротором турбины). Главные части лопаток — это замок 1 и рабочая часть 2, называемая «пером». Лопатки для паровых турбин применяются с длиной пера 200—1000 мм, для газовых турбин 30—600 мм.

Для небольших газовых турбин применяют цельные роторы с фрезерованными или электрохимически обработанными лопатками.

Основные технологические задачи — получение с высокой точностью установочных поверхностей лопатки (замка), правильного положения пера лопатки относительно замка, точной формы криволинейных поверхностей лопатки и хорошо отделанных криволинейных поверхностей лопаток, для уменьшения потерь на трение пара (газа) о лопатки.

Технические условия на изготовление рабочих лопаток паровых турбин взяты по заводским данным.

Главные технические условия на изготовление рабочих лопаток

Допускаемые отклонения по профильным кривым рабочей части	0,05—0,1 мм
То же, по спинке	≤ 0,15 мм
То же, по посадочным местам профиля хвоста	≤ 0,02 мм
Допустимая шероховатость поверхности наружного и внутреннего профиля рабочей части	0,32—0,08 мкм

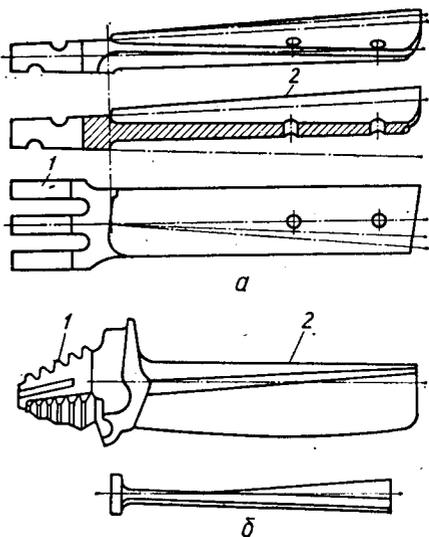


Рис. 108. Лопатки турбин:
а — паровых; б — газовых.

Таблица 50. Режимы резания, применяемые при обработке лопаток турбин

Операция	Скорость резания, м/мин	Подача
Лопатки паровых турбин из стали 2Х13		
Строгание (резец из быстрорежущей стали)	18—21	0,2—0,3 мм на двойной ход
Фрезерование (фреза с пластинами твердого сплава ВК8)	30—45	0,08—0,15 на зуб фрезы
Протягивание пазов	1,5—2,5	—
Сверление (сверло из стали Р9К10)	12—17	0,15—0,29 мм/об
Шлифование (круг СТ, зернистость 45—60)	23—25 м/с	—
Полирование войлочным кругом с наклеенным абразивным зерном (зернистость 45)	38 м/с	—
Лопатки газовых турбин из специальных сплавов [1]		
Фрезерование замка	3—6	20—30 мм/мин
Сверление	1—3	4 мм/мин
Протягивание замка (инструмент из быстрорежущей стали)	0,5—0,75	—
Плоское шлифование:		
круг	30—35 м/с	—
стол	2,7	—

Материалы лопаток. В большинстве случаев для паровых турбин применяют легированные жаростойкие стали марок 1Х13, 2Х13, Х17Н2, 15Х11МФ, 1Х18Н9Т, 18ХНВА, ХН35ВТ и др., а для газовых турбин — специальные жаростойкие стали и сплавы.

Заготовки лопаток бывают в виде штамповок, получаемых в закрытых штампах, или провальцованных штамповок (светлокатных).

Кроме того, заготовки получают выдавливанием в горячем состоянии в специальных матрицах и электроэрозионной обработкой. Для направляющих лопаток и цельных роторов можно применять литье по выплавляемым моделям.

Припуски на обработку получают при штамповке в закрытых штампах в пределах 1,5—2,5 мм, при вальцовании заготовок — в пределах 0,6—0,8 мм на сторону. Выдавленные заготовки имеют припуски ±0,2 мм на сторону. При электроэрозионной обработке припуск оставляют в пределах припуска на шлифование (0,1—0,2 мм на сторону). Литье по выплавляемым моделям дает возможность получить припуск 0,2—0,4 мм.

Технологическими базами рабочих лопаток служат посадочные места хвоста. Базами, согласованными с посадочными местами, являются профильные части лопаток. Для надежного закрепления лопаток на черновых и получистовых операциях выбирают в качестве баз профильные части лопаток, в качестве чистовых технологических баз — хвостовые части.

Основные операции можно разделить на операции по обработке замка и операции по обработке пера. При обработке замка главные операции — фрезерование и протягивание замковой части; при об-

Таблица 51. Примерный маршрут обработки лопаток паровых турбин

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Предварительное фрезерование наружной поверхности и пазов замка	Вертикально-фрезерный станок	Поверхность рабочей части
2	Протягивание пазов	Вертикально-протяжный станок	Наружная поверхность замка
3	Шлифование боковых сторон замка и подошвы лопатки	Плоскошлифовальный станок	Замок и поверхность рабочей части
4	Фрезерование спинки лопатки фасонной фрезой	Вертикально-фрезерный станок	Замок и поверхность корыта
5	Фрезерование корыта лопатки фасонной фрезой	Горизонтально-фрезерный станок	Замок и поверхность спинки
6	Шлифование спинки и корыта лопатки	Специальный шлифовальный станок	Замок
7	Полирование спинки и корыта	Полировальный станок	—

работке пера — фрезерование наружной и внутренней поверхности лопаток (для штампованных лопаток), шлифование и полирование рабочей части (для лопаток всех видов). Применяемые режимы резания значительно ниже, чем при обработке деталей из конструкционных сталей, так как жаростойкие стали имеют большую вязкость и труднее обрабатываются.

В табл. 50 приведены режимы резания, применяемые при обработке вальцованных заготовок лопаток из стали марки 2Х13, и режимы резания при обработке лопаток газовых турбин из жаростойких специальных сплавов.

Примерный маршрут обработки лопаток паровых турбин приведен в табл. 51 (заготовка — штамповка). Большинство операций выполняется на станках общего назначения стандартными инструментами. С точки зрения технологии наиболее интересны комплексы операций 4 и 5, выполняемые на станках общего назначения, в специальных приспособлениях фасонными фрезами (рис. 109).

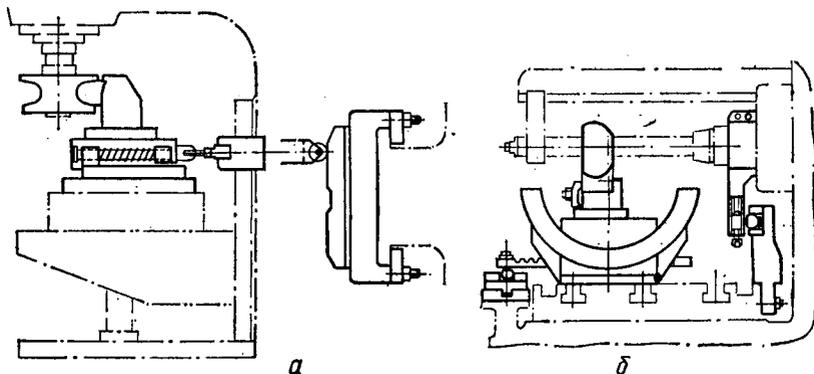


Рис. 109. Схемы обработки турбинных лопаток: а — спинки; б — корыта.

Таблица 52: Маршрут обработки рабочих лопаток газовой турбины

Номер операции	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Фрезерование базовых поверхностей со стороны спинки и корыта	Горизонтально-фрезерный станок	Поверхность корыта
2	Шлифование базовых и боковых поверхностей	Плоскошлифовальный станок	Фрезерованные поверхности замка
3	Фрезерование торца замка, входной, выходной кромки и корыта	Вертикально-горизонтально-фрезерные станки	То же
4	Предварительная обработка фасонных частей спинки и корыта	Фрезерно-копировальный и токарно-копировальный станки	» »
5	Шлифование базовых поверхностей со стороны стенки и корыта и притирка их	Плоскошлифовальный станок и притирочная плита	Поверхности спинки и корыта
6	Окончательное фрезерование и обточка корыта и спинки	Фрезерно-копировальный и токарно-копировальный станки	Поверхности замка
7	Фрезерование клина замка	Вертикально-фрезерный станок	Поверхность корыта
8	Шлифование корыта и спинки	Шлифовально-копировальный станок	Поверхность замка
9	Полирование корыта и спинки	Полировальный станок	То же
10	Фрезерование клина, профиля и торца замка	Вертикальный и специальный фрезерный станок	Корыто и спинка
11	Окончательное полирование корыта и спинки, полирование кромок и радиусов	Полировальный станок	Замок
12	Фрезерование и полирование торцов замка	Вертикально-фрезерный и плоскополировальный станки	Корыто и спинка
13	Мелкие слесарные операции	—	—
14	Контроль	—	—

Один из маршрутов обработки лопаток газовых турбин приведен в табл. 52 (заготовка — штамповка).

Оценка трудоемкости, станкоемкости и себестоимости специальных деталей. В большинстве случаев при оценке проектной трудоемкости и станкоемкости специальных деталей следует ориентироваться на подробно разработанный технологический процесс, подбирая специальные режимы резания, диктуемые условиями обработки (например, при фрезеровании или шлифовании турбинных лопаток). Это необходимо, если изготавливают специальные детали в больших количествах; незначительные неточности в подсчете времени обработки могут вызвать большие потери времени при изготовлении таких деталей. Например, ошибка в расчете времени обработки одной детали на +0,1 мин при выпуске 1 млн. деталей в год, потребует дополнительно 1610 ч рабочего времени, или 207 человеко-дней.

Перспективы развития процессов обработки специальных деталей. Поскольку к специальным относятся детали с разнообразной конфигурацией, то перспективы развития методов обработки можно наметить только для деталей определенного вида. Весьма большую группу специальных деталей составляют коленчатые валы и поршни автотракторных, авиационных, судовых и стационарных двигателей внутреннего сгорания.

Конструкторы стремятся заменить поршневые двигатели реактивными и ротационными. Поэтому для развития методов обработки коленчатых валов и связанных с ними деталей характерны ближняя и дальняя перспектива.

В ближайшей перспективе, по мере улучшения прочностных характеристик высокопрочных чугунов, будут развиваться методы изготовления коленчатых валов из литых заготовок, соответственно упростится механическая обработка. Способы автоматизации обработки коленчатых валов будут развиваться и дальше, но в более упрощенных вариантах, так как упростится механическая обработка литых заготовок.

В перспективе, в связи с развитием ротационных двигателей и газовых турбин для автотракторных машин, газотурбинных двигателей для самолетов и тепловозов, изготовление коленчатых валов, а также шатунов, поршней, поршневых пальцев и поршневых колец начнет постепенно сокращаться, уступая место изготовлению лопаток газовых турбин и деталей ротационных и реактивных двигателей.

Поскольку лопатки имеют различную форму, то технология изготовления их тоже различна. Поэтому дальнейшее развитие методов обработки лопаток будет основываться на нормализации форм лопаток, создании типовых технологических процессов, нормализации оснастки и создании специализированных автоматических линий из нормализованных узлов. Заготовки лопаток будут получать либо по выплавляемым моделям, либо штамповкой с минимальными припусками на окончательную обработку.

При обработке пера лопаток наиболее перспективными операциями будут электроимпульсная после штамповки и электрогидравлическая. Эти две электрофизические операции заменяют свыше 15 операций механической обработки и снижают трудоемкость в 3—5 раз.

Для получения фасонных замков лопаток наиболее производительным методом является протягивание, которое будет заменять фрезерование.

Методы ручной отделки лопаток в современном производстве будут заменены методами механической отделки с автоматизацией всего процесса окончательной обработки.

§16. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МАШИН

Тяжелое машиностроение в СССР особенно развилось за последние годы. К тяжелому машиностроению относят производство металлургического оборудования (например, прокатных станков), крупных металлорежущих станков, мощных гидравлических, паровых и

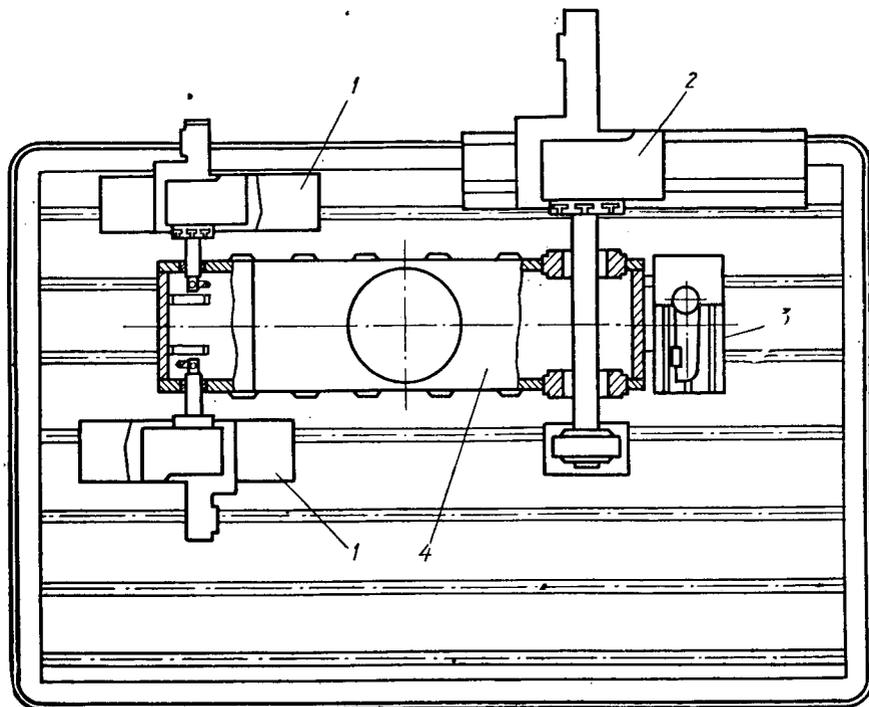


Рис. 110. Схема обработки тяжелых деталей на стенде:

1 — переносные расточные станки; 2 — передвижная колонка; 3 — переносной радиально-сверлильный станок; 4 — обрабатываемая заготовка.

газовых турбин, электрогенераторов, крупных экскаваторов и т. п. Приемы обработки, используемые в тяжелом машиностроении, применяют также при обработке крупных деталей на заводах других отраслей машиностроения и частично в цехах по обработке базисных деталей в среднем машиностроении.

Так как крупные машины изготовляют единицами или в очень небольших количествах, то производство организуют как единичное или мелкосерийное. Применяют чаще всего универсальное оборудование и более простые технологические методы и оснастку, чем в серийном и массовом производстве.

Для перемещения тяжелых узлов станки снабжены большим количеством электродвигателей. В некоторых станках применяют свыше 40 электродвигателей постоянного тока. Постоянный ток в этом случае применяют для того, чтобы было удобно регулировать скорость перемещения узлов и упростить коробку скоростей. Управление станками централизованное, кнопочное, на пульте управления или на подвесных коробках с кнопками.

Из-за большого веса заготовок и деталей (в некоторых случаях вес одной детали доходит до 300 т) важное значение приобретает транспорт. Главным транспортным средством в цехах заводов тяжелого машиностроения являются мостовые краны, грузоподъемность которых

достигает 250 т и выше. В некоторых случаях особо тяжелые детали поднимают и перемещают двумя кранами.

При конструировании станков для тяжелого машиностроения стремятся избежать перемещения тяжелых деталей с операции на операцию и во время обработки. Для этого применяют передвижные порталные станки с фрезерными головками, передвижные расточные колонки, односторонние фрезерные станки, в которых фреза диаметром до 2 м имеет подачу, большие карусельные станки для обтачивания деталей диаметром до 18 м, тяжелые многосуппортные токарные станки для обтачивания деталей длиной до 30 м и диаметром до 1,5 м.

В ходе развития технологии тяжелого машиностроения разработана система так называемой «стендовой обработки», т. е. если обрабатываемые станки легче обрабатываемой детали, то проще и дешевле перенести станок к обрабатываемой детали, чем деталь к станку (рис. 110).

Стендовая обработка производится с помощью передвижающихся вдоль стенда горизонтально-сверлильно-расточных и переносных станков, подаваемых на стенд подъемным краном. Переносные станки применяют: сверлильные — с диаметром сверления до 40—60 мм, радиально-сверлильные с диаметром сверления до 75 мм, поперечно-строгальные — с ходом ползуна до 1200—1500 мм, долбежные с ходом ползуна до 2000 мм. При изготовлении базисных деталей (станин, остовов рам и т. п.) комбинированная стендовая обработка составляет 60 % общей трудоемкости и сокращает цикл обработки в 1,5—2 раза.

При стендовой обработке придерживаются следующих правил.

1. Время на установку каждого дополнительного передвижного или переносного станка к деталям должно быть меньше, чем на перестановку заготовки на другой станок.

2. Передвижные и переносные станки следует расставлять вокруг детали так, чтобы можно было организовать параллельную работу станков и снять станок, на котором окончили работу, не мешая другим станкам работать.

3. Более мощные передвижные станки должны выполнять больший объем работы, чем легкие переносные станки

4. В картах технологического процесса должны быть все необходимые указания о порядке обработки передвижными, переносными станками и способах их установки на стенде.

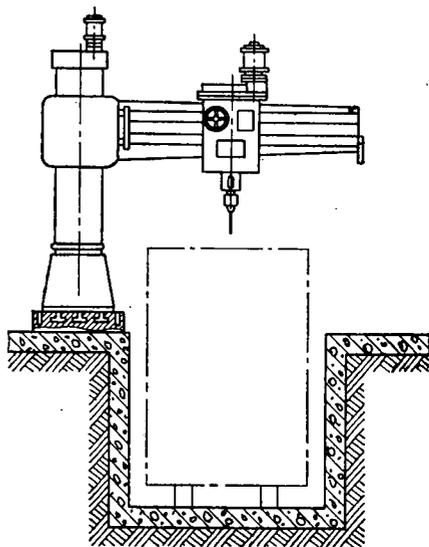
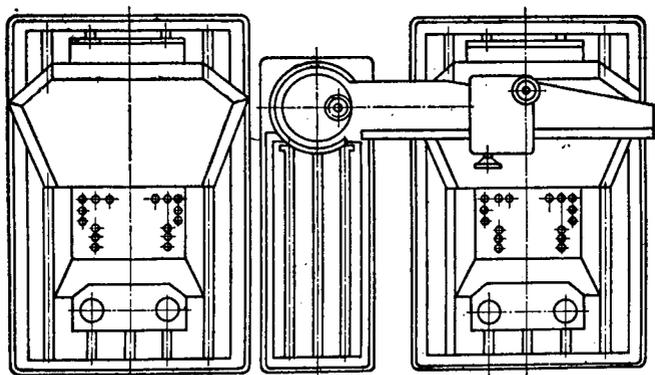
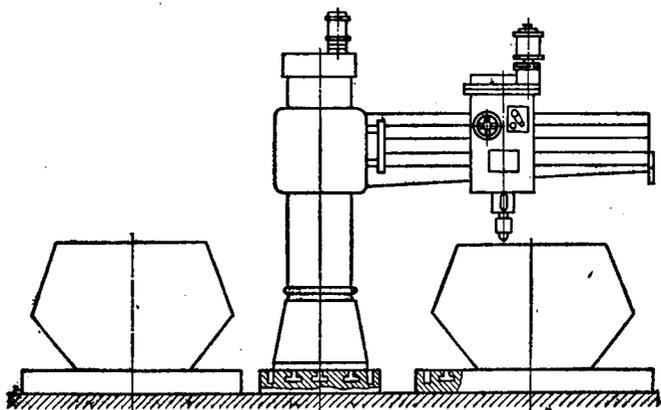
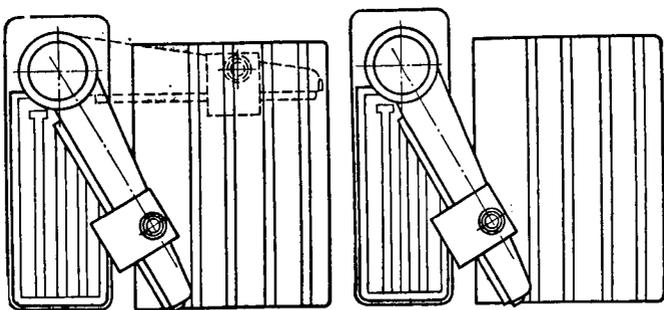


Рис. 111. Устройство ямы у радиально-сверлильного станка для обработки крупных деталей.



a



б

Рис. 112. Дополнительные плиты к радиально-сверлильным станкам:

а — к одному; б — к двум.

5. Следует подготовить всю необходимую оснастку для передвижных и переносных станков. Ее надо подавать на стенд одновременно со станками.

6. Обработывая деталь на одном месте стенда, на соседнем месте готовят обработку другой заготовки.

Чтобы улучшить условия обработки тяжелых деталей, применяют дооборудование рабочих мест универсальных станков, цель которого — расширить технологические возможности и лучше использовать оборудование.

У станков устраивают дополнительные ямы и каналы, в которых можно обрабатывать заготовки, не помещающиеся на плите станка (рис. 111).

Делают дополнительные плиты у радиально-сверлильных станков (рис. 112), на которых можно подготавливать обработку одной заготовки во время обработки другой.

Устанавливают радиально-сверлильные станки на тележку, перемещающуюся вдоль длинной обрабатываемой заготовки (рис. 113).

Облегчают пользование тяжелой оснасткой. Например, при обработке на крупных расточных станках пользуются тяжелыми расточными борштангами. Чтобы не вытаскивать их из шпинделя, люнета и обрабатываемой детали, делают накладные инструменты (рис. 114, а), которые можно надевать на борштангу, не вынимая ее из детали.

Для измерения отверстий с помощью штихмасов в борштангах делают специальные окна, через которые можно измерять диаметры отверстий, не выводя борштангу из отверстия (рис. 114, б).

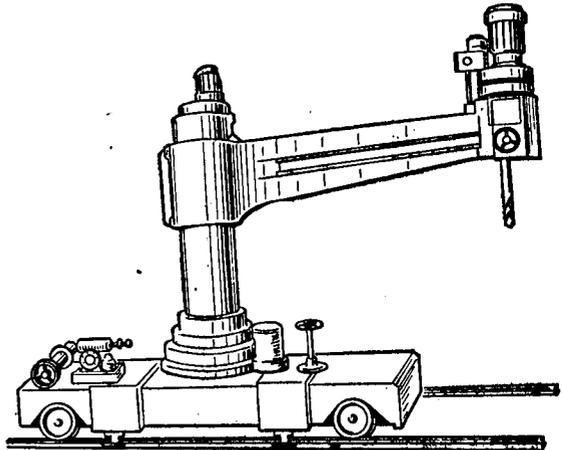


Рис. 113. Передвижной радиально-сверлильный станок.

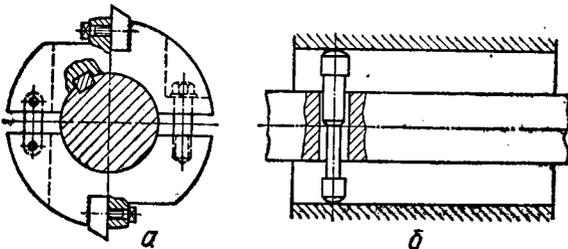


Рис. 114. К приемам уменьшения вспомогательного времени в тяжелом машиностроении:

а — применение накладных инструментов; б — измерение размеров через окна борштанг.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Отдельные технологические процессы рассматривались в общем курсе [7]. Однако технология машиностроения непрерывно развивается. Поэтому в заключение раздела о комплексных технологических процессах механической обработки целесообразно рассмотреть процессы, не получившие еще широкого распространения, и новые процессы, появившиеся к моменту написания этой книги. Некоторые из новых методов находятся еще в стадии экспериментального исследования, но знать их полезно для того, чтобы технолог представлял себе, в каком направлении ведутся поиски новых методов обработки в области технологии машиностроения.

§ 17. УПРОЧНЯЮЩЕ-ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ

К упрочняюще-отделочной обработке давлением относятся ротационная обработка шариковыми головками плоских поверхностей, ротационное дорнование, выглаживающее протягивание отверстий, вибронакатывание и формообразование с помощью взрывной волны.

Обработка шариковыми головками плоских поверхностей. При обкатке шариковой головкой (рис. 115) предварительно профрезерованных стальных заготовок происходит смятие микронеровностей, оставшихся после предыдущей обработки, и выравнивание плоской поверхности. Припуск на обработку не оставляют, обкатку выполняют

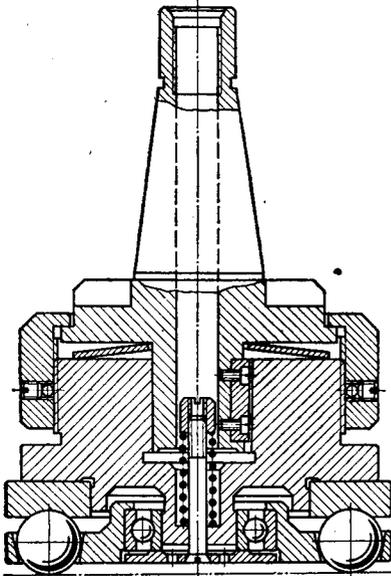


Рис. 115. Шариковая головка.

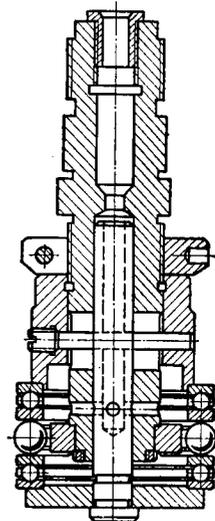


Рис. 116. Шариковый дорн.



Рис. 117. Выглаживающая протяжка.

за одну установку. Поверхность под обкатку фрезеруют до шероховатости $R_z 40 - R_a 2,5$ мкм. Подача на шар колеблется от 0,015 до 0,08 мм в зависимости от выбранного диаметра шара и требований, предъявляемых к обкатанной поверхности. Диаметр шаров выбирают в пределах 10—12 мм. Скорость вращения головки 150—200 м/мин. Смазка — машинное или трансформаторное масло. Шероховатость обкатанной поверхности получается в пределах 0,63—0,16 мкм.

Ротационное дорнование. Процесс дорнования отверстий известен давно, однако необходимость подбирать и изготовлять для отверстия каждого размера точный, нерегулируемый, быстро изнашивающийся инструмент затрудняет применение этого процесса. Ротационное дорнование позволяет в значительной степени устранять недостатки обработки жестким инструментом. Дорнование выполняют дорном (рис. 116) за один проход после растачивания отверстия с шероховатостью поверхности до $R_z 20 \div R_a 2,5$ мкм. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применяют машинное или веретенное масло. После обработки получается отверстие с шероховатостью 0,32—0,16 мкм. Припуск на диаметр под ротационное дорнование 0,07—0,09 мм для стали 15 и 0,08—0,1 мм для сталей 20, 35, 45. Окружную скорость дорна изменяют в пределах 120—180 м/мин. Подача на шар за один оборот обрабатываемого цилиндра 0,01—0,02 мм для шаров диаметром до 10 мм и 0,015—0,05 мм для шаров диаметром до 12 мм.

Износоустойчивость дорнованной поверхности получается в 2—2,5 раза выше, чем недорнованной.

Выглаживающее протягивание выполняют твердосплавными выглаживающими протяжками (рис. 117). Такие протяжки имеют значительно бóльшую стойкость, чем стальные, уменьшают шероховатость и повышают износостойкость обработанной поверхности, повышают производительность труда при обработке гладких отверстий. Материал выглаживающих колец — твердые сплавы марок ВК6, ВК8 и др. Во время исследования протягивание отверстий в деталях из стали 20, 35, 45 производилось при скоростях протягивания от 1 до 5 м/мин со смазкой 5 %-й эмульсией или сульфозфрезолом. Натяг (увеличение диаметра от кольца к кольцу) был равным 0,05; 0,1 до 0,5 мм через 0,1 мм. Сила протягивания при этом колебалась соответственно от 16 000 до 2000 кг, т. е. протягивание целесообразно осуществлять с большими натягами на кольцо. Шероховатость поверхности получилась в пределах 0,32—0,16 мкм. Втулки, получаемые из трубы, можно протягивать без предварительной обработки отверстий резцом.

Производительность различных методов обработки приведена в табл. 53.

Разновидностью упрочняюще-отделочной обработки является *вибрационное накатывание*. Для осуществления этого процесса инстру-

Таблица 53. Сравнение различных упрочняюще-отделочных методов обработки отверстий

Способ обработки	Квалитет	Шероховатость, мкм	Производительность, %
Дорнование шариками	7-й	0,16—0,08	100
Протягивание выглаживающими протяжками	7—6-й	0,16—0,08	100
Дорнование цельными дорнами	9—6-й	1,25—0,08	70
Раскатывание роликовыми раскатками	7—6-й	0,32—0,16	25
Раскатывание шариковыми раскатками	7-й	0,32—0,16	20

менту придается осциллирующее движение. Рабочий конец инструмента снабжается стальным закаленным шариком (шариками) или алмазным (твердосплавным) закругленным наконечником. Давление инструмента на изделие регулируется.

При движении осциллирующего инструмента относительно прямолинейного или вращательного движения изделия происходит выглаживание микронеровностей, упрочнение поверхностного слоя и образование микрорельефа.

Выдавливаемые на изделии канавки увеличивают несущую поверхность изделия и образуют на нем масляные карманы.

В результате при эксплуатации изделия уменьшаются силы трения, повышаются коэффициент полезного действия пар трения и их износостойкость.

При всех процессах обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) должны соблюдаться общие требования по ГОСТ 20299—74, предъявляемые к технологическим процессам этого рода, оборудованию и оснастке, вспомогательным материалам, к контролю качества и требованиям безопасности.

Обработка плазменной струей. В этом процессе используется струя ионизированного газа (плазмы) для обработки труднообрабатываемых материалов [8].

Ионизированный газ образуется при нагреве какого-либо рабочего газа (или смеси газов) дуговым электрическим разрядом. При этом температура достигает $5000 \div 50\,000$ °С.

Повышение давления газа приводит к повышению его температуры и скорости движения. При давлении $2 \div 3$ атм и силе тока в дуге $400 \div 500$ А скорости ионизированных частиц в струе доходят до $15\,000$ м/с.

С помощью специальной форсунки плазменная струя направляется к месту обработки, в результате чего материал плавится и частично испаряется.

В машиностроении плазменную струю можно эффективно применять при обработке отверстий, щелей и пазов малых размеров в труднообрабатываемых материалах, а также для резания листового материала и предварительного подогрева заготовок перед обработкой их режущим инструментом на станках.

Для токарной обработки этот метод из-за сложности оборудования, необходимости применения специальных газов и строгого со-

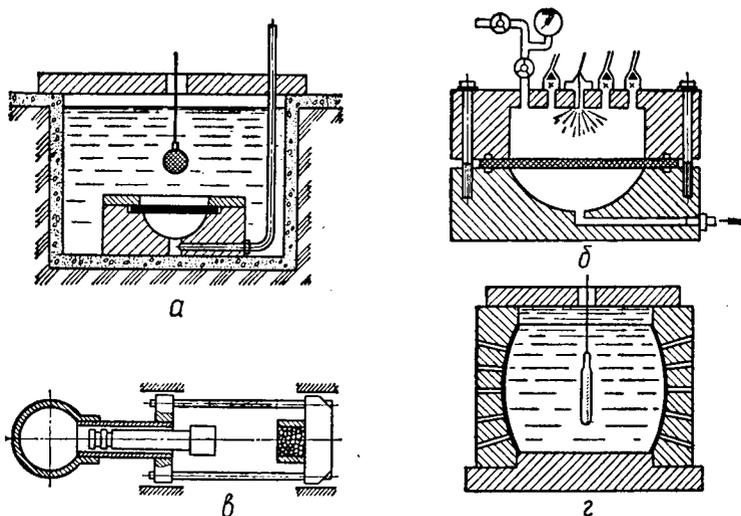


Рис. 118. Схемы устройств для формообразования взрывом.

блюдения техники безопасности применяется только при обработке особо труднообрабатываемых материалов.

В одной из таких установок применяют смесь аргона, азота и водорода. При использовании этой смеси требуются переоборудование токарного станка, специальный источник питания электрической дуги, форсунка, три баллона с газами, система подачи газов, расходомеры, манометры, редукционные и баллонные вентили.

Формообразование с помощью взрывной волны применяют при изготовлении из листовой стали крупногабаритных деталей разнообразной формы (фасонных сосудов, баков, днищ и т. п.). Есть три основных способа использования энергии взрыва для формообразования заготовок:

- 1) передача давления газов на заготовку с помощью жидкости (рис. 118, а);
- 2) непосредственное давление газов, образующихся при взрыве, на заготовку (рис. 118, б);
- 3) использование давления газов взрыва в специальных молотах (рис. 118, в).

Первый способ наиболее распространен. В качестве жидкости, передающей давление ударной волны на заготовку, применяют воду.

Взрывчатые вещества применяют быстродействующие (динамит, тротил) и медленнодействующие (порох). Последние горят со сравнительно небольшой скоростью, что позволяет до некоторой степени управлять процессом взрыва, давление нарастает по определенному закону. Скорость газа при взрыве бывает до 7600 м/с. С такой же скоростью происходит и формообразование заготовки.

Конструкция матриц, применяемых для формообразования заготовок, должна быть такой, чтобы при достаточной прочности и жесткости их можно было быстро удалить воздух из рабочей полости.

Рабочие поверхности матриц следует обработать до шероховатости $0,16 \div 0,04$ мкм, при больших скоростях и давлениях формования малейшая риска на матрице отпечатывается на поверхности обработанной детали.

Из рабочей полости воздух вытесняется деформируемой заготовкой в специальный воздухосборник или отсасывается вакуум-насосом. Последний способ предпочтительнее первого, так как уменьшается объем и трудоемкость оснастки.

При формовании заготовки из листового материала можно одновременно или последовательно пробивать отверстия диаметром от 5 мм (при материале толщиной 1 мм) до 10 мм (при материале толщиной 1,5 мм) (рис. 118, з).

Диаметр получаемых деталей 1—2 м при толщине материала 8—12 мм. Точность изготовления деталей $(\pm 0,1) \div (\pm 0,2$ мм). С помощью молотов, действующих под давлением газов взрыва, получают точные металлокерамические заготовки. Такие молоты применяют также при брикетировании стальной стружки, для резки слитков в установках непрерывной разливки стали и прессования деталей из порошков. Недостаток этого способа в том, что необходимо проводить работы на специально оборудованных площадках и тщательно соблюдать меры предосторожности при обращении со взрывчатыми веществами.

§18. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Электрофизические методы обработки начали интенсивно развиваться в связи с появлением в конструкциях машин новых материалов, с трудом поддающихся обработке обычными металлорежущими инструментами. Появились также новые формы и элементы деталей машин, которые нельзя получить никакими другими методами, кроме электрофизических. Некоторые электрофизические способы формования заменяют традиционные методы формования давлением.

К электрофизическим методам обработки относится ультразвуковая, электроэрозионная, магнитимпульсная, электрогидравлическая, электронно-лучевая, фотонно-лучевая и плазменная.

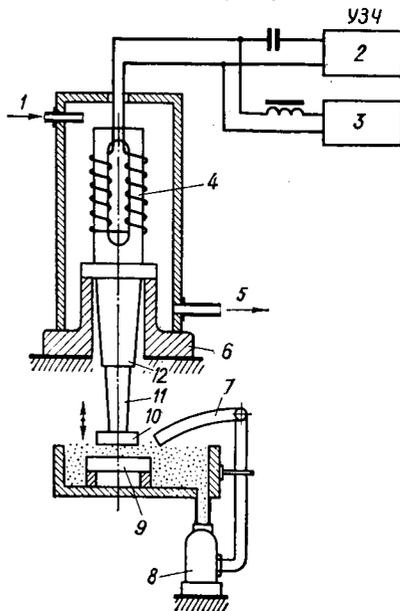


Рис. 119. Схема ультразвукового станка:

1 — подвод охлаждающей воды; 2, 3 — источники постоянного и переменного тока; 4 — вибраторы (блок никелевых пластин); 5 — выход охлаждающей воды; 6 — корпус; 7 — подвод суспензии; 8 — насос; 9 — заготовка; 10, 11 — инструмент; 12 — промежуточный стержень.

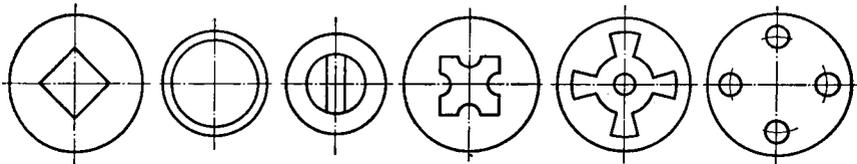


Рис. 120. Отверстия, получаемые на ультразвуковых станках.

Ультразвуковая обработка применяется для размерной обработки деталей из твердых и хрупких материалов (твердых сплавов, стекла, керамики). Обработка по этому методу машиноподелочных сталей не эффективна. Ультразвуковая обработка основана на принципе выкалывания быстродвижущимися зернами абразива частиц обрабатываемого материала. Абразив подводится к месту обработки взвешенным в жидкости, и частицы его действуют на обрабатываемый материал с большой частотой (порядка 20—25 тыс. Гц).

Движение частицам абразива придает торец инструмента, колеблющегося с указанной частотой. Чтобы привести в движение инструмент, применяют колебательную систему, имеющую стержень из материала с магнитострикционными* свойствами. Схема ультразвукового станка показана на рис. 119.

На стержне сердечника имеется обмотка, через которую протекает постоянный ток, вызывающий изменение длины стержня, и переменный ток ультразвуковой частоты, вызывающий колебательное движение стержня. Амплитуда колебания торца сердечника составляет 10—12 мкм. Наилучший материал для стержня, имеющий хорошие магнитострикционные свойства, — это никель по ГОСТ 2170—73.

Для уменьшения потерь энергии на вихревые токи и гистерезис сердечник выполняют из отдельных пластинок толщиной до 0,1 мм. Из-за действия вихревых токов и колебательного движения с большой частотой сердечник нагревается. Так как с повышением температуры магнитострикционные свойства сердечника снижаются, его охлаждают проточной водой. Сквозные отверстия различной формы, обрабатываемые на ультразвуковых станках, показаны на рис. 120.

Технологические возможности при обработке сквозных отверстий кольцевыми инструментом указаны в табл. 54.

В качестве абразива применяют карбид бора (B_4C),

* Магнитострикцией называется явление изменения длины ферромагнитного стержня при помещении его в магнитное поле.

Таблица 54. Мощность ультразвукового станка и размеры обрабатываемой поверхности

Выходная мощность станка, кВт	Наибольший диаметр сквозного отверстия, мм	Оптимальная площадь обработки, мм ²	Наибольшая глубина обработки, мм
0,25	25	80—180	25
1,0—1,5	75	500—1000	40—50
2,0—2,5	90	1000—2200	40—50

Примечания: 1. Данные этой таблицы получены при следующих условиях: частота колебаний инструмента — 20 кГц; амплитуда — 26 мкм; абразив — карбид бора зернистостью 100.

2. При обработке глухих отверстий наибольший диаметр их берут в 1,5—2 раза меньше, чем при обработке сквозных отверстий.

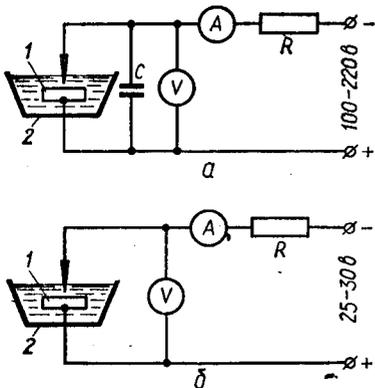


Рис. 121. Схемы установок:
 а — электроскорой; б — электроимпульсной; 1 — обрабатываемая заготовка; 2 — ванна.

борсиликокарбид, карбид кремния SiC (карборунд) с зернистостью 220—320. Точность обработки при работе со свежим абразивом — около ± 5 мкм при толщине материала до 5—10 мм. Конус отверстия имеет угол $1,5-1^\circ$.

Шероховатость поверхности зависит от зернистости и рода абразива и от положения обрабатываемых поверхностей относительно инструмента. При обработке твердого сплава карбидом бора с зернистостью 120 на торцовых поверхностях изделия достигают шероховатости $1,25-0,63$ мкм; на боковых поверхностях $R_z 10, R_a 2,5$, при обработке того же материала карбидом бора с зернистостью 320 на торцовых поверхностях — $0,16-0,08$ мкм, на боковых — $1,25-0,63$ мкм. В последние годы проведены опыты по резанию металлов с приданием режущему инструменту колебаний ультразвуковой частоты и малой амплитуды ($0,5-2$ мкм). Опыты проводились при обработке труднообрабатываемых сталей, сверлении и рассверливании, строгании, фрезеровании, нарезании резьб метчиками, дорновании, зенкерованием и развертывании. Было достигнуто уменьшение усилий резания, повысились качество поверхности и производительность обработки. Однако при обработке обычных машиноподелочных сталей обработка колеблющимся инструментом значительно менее производительна, чем при обработке инструментами, работающими без специально возбуждаемых колебаний. Ультразвуковые методы обработки применяют также при сваривании тонкостенных деталей из различных материалов, паянии и лужении алюминия, меди, латуни и бронзы. Отечественные станки имеют выходную мощность 0,25; 1,5; 4 кВт.

Электроэрозионная обработка * в настоящее время применяется очень широко. Отечественные заводы выпускают станки для электроэрозионной обработки. Видоизменением этого метода обработки является метод так называемой электроимпульсной обработки **.

При электроискровом методе обработки (рис. 121, а) контур питается от конденсаторных генераторов тока. Искровой разряд при этом зависит от физического состояния межэлектродного промежутка. При электроимпульсном методе обработки (рис. 121, б) рабочий контур питается от независимого генератора униполярных импульсов. Частота, продолжительность и амплитуда импульсов тока не зависят от физического состояния межэлектродного промежутка.

Электроимпульсная обработка от электроискровой принципиально не отличается, но при электроимпульсной обработке длительность им-

* Метод разработан профессорами Б. Р. и Н. П. Лазаренко.

** Разработан в ЭНИМСе под руководством проф. А. Л. Лившица.

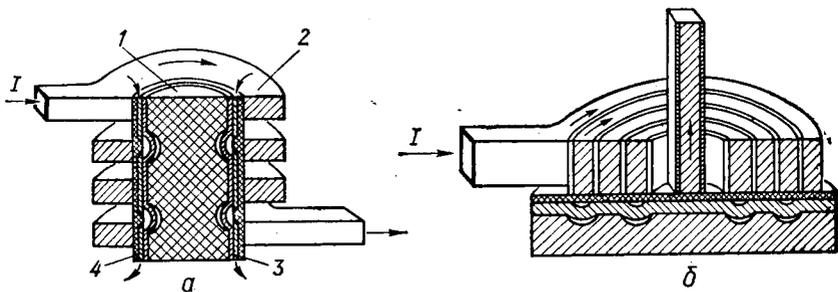


Рис. 122. Схемы магнитоимпульсной обработки.

пульса увеличивается от 5 до 100 раз. Вследствие этого скорость съема металла повышается в 5—10 раз, а износ электродов уменьшается в 25—100 раз.

Отечественной промышленностью выпускаются станки для электроимпульсной обработки. Максимальная скорость съема материала при обработке стали — 15 000 мм³/мин (при электроискровой — 600 мм³/мин), при обработке твердого сплава — 120 мм³/мин (при электроискровой — 100 мм³/мин), шероховатость поверхности получается в пределах R_{z20} —40 мкм при обработке стали и 2,5—1,25 мкм при обработке твердых сплавов.

На станках для электроимпульсной обработки получают отверстия с криволинейной осью диаметром 0,1 мм и выше, профильные поверхности в штампах для горячей штамповки, щелевидные отверстия и др.

Магнитоимпульсная обработка *. Электроштамповка применяется для обработки трубчатых деталей из электропроводных материалов диаметром до 300 мм и толщиной стенок до 3 мм, а также для штамповки деталей из листовой заготовки. При этом методе обработки деталь должна находиться под действием импульсного магнитного поля большой напряженности. Магнитное поле создается при пропускании электрического тока через соленоид (рис. 122). При этом используются силы электромеханического взаимодействия между вихревыми токами, наведенными в обрабатываемой детали, и магнитным потоком импульса или силы взаимодействия магнитных полей двух проводников, одним из которых является обрабатываемая деталь.

Трубу 3 при обжатии помещают внутрь индуктора 2 (рис. 122, а). Когда через индуктор пропускают ток I , внутри индуктора возникает магнитное поле, наводящее вихревые токи в металле трубы. Вихревые токи образуют электромеханические силы взаимодействия с магнитным потоком и вызывают механический эффект отталкивания стенок трубы от импульса магнитного поля, образуемого сердечником I , вследствие чего и происходит обжатие трубы в форме 4.

Если штампуют из листа (рис. 122, б), индуктор выполняется в виде плоской спирали. Когда через индуктор пропускается импульс тока, магнитное поле наводит в заготовке кольцевые вихревые токи, отталкивающие заготовку от катушки.

* Разработана в Харьковском политехническом институте.

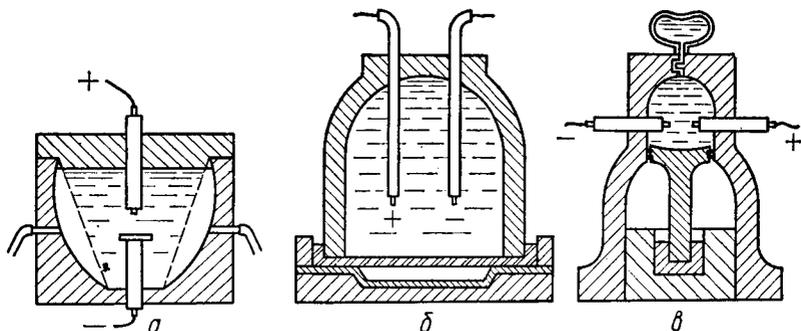


Рис. 123. Схемы электрогидравлической штамповки:
 а — для фасонных деталей; б — для деталей типа «крышки»; в — электрогидравлический пресс.

Электрогидравлическая штамповка не получила еще широкого распространения. При появлении высоковольтного электрического разряда в жидкости возникают высокие импульсные давления, которые можно использовать для технологических целей. Электрогидравлическая штамповка имеет много общего со взрывной штамповкой. Направляя импульсы давления на поверхность заготовки, можно изменить форму заготовки так же, как при штамповании, выдавливании, высаживании; можно диспергировать материалы и т. п.

Гидравлические удары высокой интенсивности, возникающие при

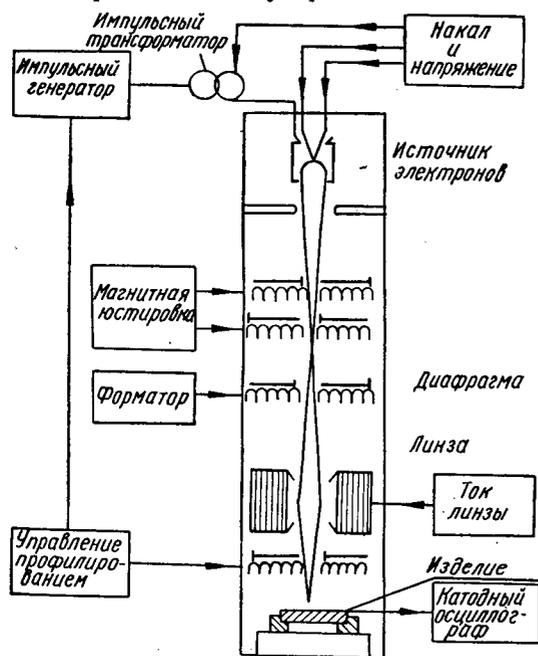


Рис. 124. Схема установки для обработки электронным лучом.

импульсном электрическом разряде в воде, делают особенно эффективным этот способ при штамповке деталей из малопластичных сплавов. Давление ударной волны при электрическом разряде в воде достигает 56 кгс/мм^2 . Схемы установок для электрогидравлической штамповки показаны на рис. 123.

По схемам, показанным на рис. 123, а, можно отформовать заготовку диаметром более 3200 мм и толщиной до 25 мм.

С помощью электрогидравлического пресса (рис. 123, б) можно получить сильфоны, колпачки и цилиндры из листового проката меди, латуни, стали, алюминия толщиной от 0,15 до 0,5 мм, диаметром от 54 мм

и длиной до 150 мм. Кроме того, можно пробивать отверстия сложной конфигурации, производить запрессовку и развальцовку труб.

Обработка электронным лучом находится еще в стадии экспериментального исследования и не получила большого распространения в машиностроении. Обработка осуществляется сфокусированным пучком электронов, излучаемых нагретым катодом и ускоренных электрическим полем (рис. 124). Пучок электронов, направленный на изделие, вызывает локальный нагрев его до 3000°C на весьма ограниченной площади (800 мкм^2). Обработку необходимо вести в вакууме.

До сих пор нагрев электронным пучком использовали главным образом для плавки чистых металлов в малых объемах (вольфрама, молибдена, тантала и др.), для сварки в вакууме этих и других труднообрабатываемых материалов, для поверхностного испарения металлов при необходимости получения лунок, пазов и т. п. В приборостроении электронным пучком выполняют сквозные и глухие отверстия диаметром от 0,02 до 3,0 мм, обрабатывают изделия по заданному контуру, щели и пазы в металлах, полупроводниках и изоляторах, точность 6—8-й квалитеты, шероховатость 2,5—0,32 мкм.

Недостаток метода: необходимо вести обработку в вакууме, что связано с применением дорогих вакуум-насосов и другого сложного оборудования. Поэтому в машиностроении для выполнения тех же работ, которые можно выполнить с помощью электронного пучка, более перспективно использовать оптические квантовые генераторы, работающие при нормальном атмосферном давлении.

Обработка световым лучом оптического квантового генератора (лазера). Конструктивная схема ОКГ импульсного действия показана на рис. 125. Принцип действия ОКГ можно понять на основе следующих упрощенных представлений об энергетических состояниях атомов веществ. Известно, что атомы в веществе находятся в состоянии,

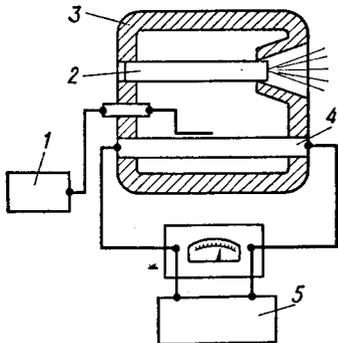


Рис. 125. Конструктивная схема ОКГ: 1 — поджигающее устройство; 2 — рубин; 3 — отражатель; 4 — лампа подкачки; 5 — зарядное устройство.

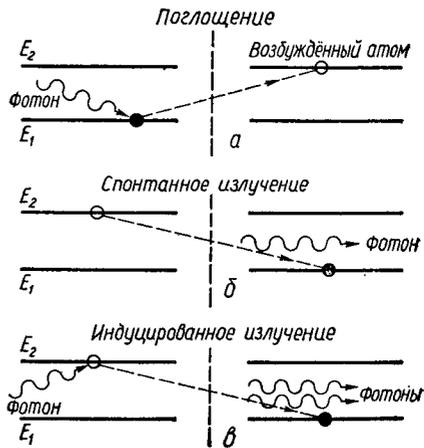


Рис. 126. Схема поглощения и излучения фотонов при возбуждении атомов вещества светом.

при котором их энергия минимальна. При внешнем воздействии энергия атома увеличивается, и он переходит на очень короткое время в возбужденное состояние.

Из возбужденного состояния атом может перейти в менее возбужденное, или основное, состояние, излучив при этом переходе квант электромагнитного излучения (фотон).

Энергия кванта электромагнитного излучения (в том числе и светового)

$$E = h\nu, \quad (71)$$

где h — постоянная Планка, равная $6,625 \cdot 10^{-27}$ эрг \cdot с; ν — частота излучения (для видимого света $\nu = 10^{14} \div 10^{15}$ Гц). Если есть система атомов, которая может находиться в двух энергетических состояниях E_1 и E_2 , и переход атомов из одного состояния в другое носит излучательный характер, то и в этом случае под действием электромагнитного поля атомы из состояния E_1 могут переходить в состояние E_2 , поглощая фотоны; атомы из состояния E_2 могут переходить в состояние E_1 , испуская фотоны. При этом частоту поглощенного или испущенного системой излучения определяют по уравнению (71)

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}.$$

Установлено, что при облучении некоторых твердых тел светом (потоком фотонов) происходят следующие процессы (рис. 126). Если фотон падает на атом, находящийся в состоянии с наименьшей энергией E_1 , то этот атом поглощает фотон и переходит в состояние с более высоким уровнем энергии E_2 (возбужденное) (рис. 126, а). Из этого состояния атом может самостоятельно, без воздействия извне, перейти в состояние с низким уровнем. При этом излучается фотон (рис. 126, б). Этот процесс называют процессом спонтанного или самопроизвольного излучения. Если на возбужденный атом в состоянии E_2 падает дополнительный фотон, то последний вынуждает возбужденный атом испустить фотон той же длины волны. Кроме того, атом переходит в состояние с низкой энергией E_1 и излучает еще один фотон (рис. 126, в). Этот процесс называют процессом индуцированного или вынужденного излучения.

В ОКГ, пригодных для использования в технологических целях, в качестве рабочего тела применяют неодимовое стекло, кристалл бледно-розового рубина в виде цилиндра и другие материалы. Наиболее часто применяют ОКГ на рубине и неодимовом стекле. Кристалл рубина состоит из окиси алюминия, Al_2O_3 с 0,05 % хрома (Cr^{3+}). Длина волны излучаемого света $6943 \text{ \AA} \approx 0,0007 \text{ мм}$ *

Стекло $CaWO_4$ с примесью неодима Nd^{3+} полируется по всем поверхностям. Торцы рабочего тела должны быть отполированы с оптической точностью до одной угловой минуты. Длина волны излучения 1,065 мкм.

* 1 \AA (ангстрем) = 10^{-8} см.

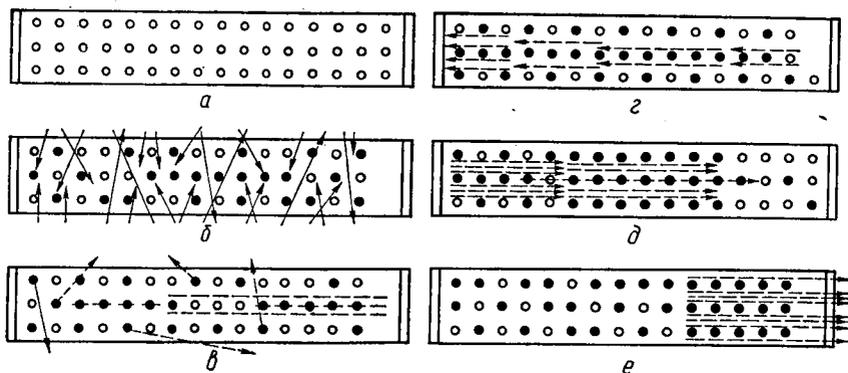


Рис. 127. Схема процесса формирования излучения лазера.

В современных конструкциях ОКГ по торцам рабочего тела расположены зеркала, из которых одно не пропускает светового излучения, а другое, на выходе луча, сделано с небольшими просветами.

Рабочее тело с системой зеркал приобретает свойства резонатора (усилителя световых колебаний). Усилитель помещают в зеркальную коробку-отражатель и облучают мощным источником света. В рубине происходят следующие процессы. В возбужденное состояние переводятся атомы хрома; атомы алюминия и кислорода остаются инертными (на рис. 127, а условно кружками показаны атомы хрома в основном состоянии). При облучении («подкачке») кристалла светом (рис. 127, б — черные стрелки) большое количество атомов хрома переводится в возбужденное состояние (черные точки). Возбужденные атомы начинают спонтанно излучать фотоны (рис. 127, в — штриховые стрелки). Часть фотонов уходит за пределы кристалла, снова отражается от стенок отражателя и снова падает частично на уже возбужденные атомы. Происходит вынужденное излучение внутри кристалла. Часть фотонов движется параллельно оси кристалла и отражается от посеребренных зеркал. При многократных отражениях от торцов (рис. 127, г, д) фотон, излученный одним атомом, вынуждает другой, возбужденный, атом испустить второй фотон с одновременным переходом в состояние с низшей энергией.

Таким образом, усиливаются лишь те колебания, которые направлены параллельно оси рубинового стержня. Вследствие того, что возбужденные атомы испускают фотоны с волной той же длины, что и волны падающих фотонов, получается практически когерентное, монохроматическое излучение. В результате этих процессов многократно усиленное излучение выходит через полупрозрачное зеркало (рис. 127, е) и, будучи сфокусировано через линзу, образует луч света высокой интенсивности. Весь процесс с момента облучения кристалла до выхода когерентного излучения происходит в тысячные доли секунды.

Фокусировка выходного луча дает возможность сосредоточить всю энергию луча при очень малых поверхностях (до $0,00008 \text{ см}^2$). При этом можно достичь плотность излучения (в зависимости от кон-

струкции ОКГ) от нескольких киловатт на сантиметр до 100 000 кВт/см*. При фокусировке луча можно нагреть облучаемую поверхность до температуры 8000 °С за 0,5 мкс. Возможная частота повторения импульсов 4—15 имп./с.

Практически в месте локализации луча испаряется любой металл и твердый материал при наружной комнатной температуре. С помощью ОКГ на рубине и неодимовом стекле можно пробивать отверстия в закаленном металле толщиной от 0,1 до 3,0 мм диаметром до 0,05 мм.

Производится сварка и резка металла на участках, размер которых имеет порядок 1 мкм и менее. Стекло пропускает луч ОКГ. Поэтому возможна сварка металлов и пробивание отверстий в них внутри стеклянных аппаратов или баллонов. Гигиеническое значение сварки внутри стеклянной коробки очевидно.

Использование ОКГ может быть особенно эффективным при обработке труднообрабатываемых жаропрочных, нержавеющей сталей и металлокерамических материалов. К. п. д. ОКГ на рубине пока еще очень мал (около 1 %). Но во многих странах ведутся работы по созданию ОКГ непрерывного действия с твердыми и газообразными рабочими телами с более высокими к. п. д. Созданы опытные полупроводниковые квантовые генераторы с к. п. д., приближающимися к 95 %. Однако мощность их излучения пока невелика.

ГЛАВА IV

ПРОЦЕССЫ СБОРКИ МАШИН

§19. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СБОРКИ МАШИН

Сборка машин является заключительным этапом в производстве машин и представляет собой большой комплекс слесарных, сборочных, поверочных и окрасочных работ. От качества сборочных работ в значительной степени зависят работоспособность, надежность и долговечность машины.

Сборочный цех определяет темпы и направление работы всех обрабатывающих и заготовительных цехов завода, особенно в поточном и автоматизированном производстве. Работа всех участков производства должна быть синхронизирована в соответствии с тактом выпуска машин на сборке.

Еще при проектировании машин следует определить последовательность сборки, состав сборочных единиц и рассчитать размерные цепи.

Трудоемкость сборочных работ по отношению к трудоемкости механической обработки составляет в массовом машиностроении 25—30 %, в среднем серийном машиностроении 30—60 %, в тяжелом 80—100 %.

* Для сравнения можно указать, что плотность энергии движущихся частиц газа при газовой сварке достигает примерно 4,5 кВт/см².

Сборочные единицы разделяют на звенья, комплекты и узлы. Основное направление при конструировании машин в настоящее время — это использование принципа агрегатирования, т. е. построения машины из отдельных узлов, которые можно было бы ставить на базовую деталь и снимать независимо от других узлов.

В соответствии с разбивкой конструкции на сборочные единицы сборка бывает узловой и общей (генеральной). Основой сборки является теория размерных цепей, которая в настоящее время является государственным стандартом (ГОСТ 16319—80).

Все детали современных машин изготавливают и контролируют в пределах заданных допусков на изготовление. Фактические размеры деталей после окончательной обработки получаются разными в пределах заданных полей допусков.

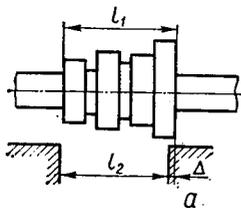
Причинами этого являются погрешности изготовления деталей при механической обработке.

Если при конструировании машины не сделан расчет размерных цепей, то на сборке выявляются следующие недостатки:

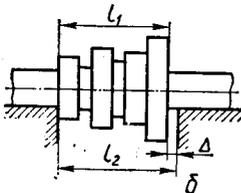
1) комплекты (узлы) не входят в назначенные места и требуется пригонка деталей, чтобы комплекты (узлы) можно было поставить на свое место (рис. 128, а);

2) комплекты (узлы) входят между определенными элементами в конструкции со слишком большими зазорами, поэтому необходимо изготавливать новые детали, уменьшающие эти зазоры (рис. 128, б);

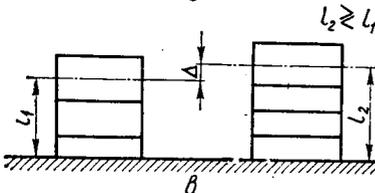
3) комплекты (узлы) собраны так, что значительно не совпадают те оси деталей, которые по условиям работы могут отклоняться одна от другой только на незначительную величину (рис. 128, в).



$$l_2 < l_1$$



$$l_2 > l_1$$



$$l_2 \geq l_1$$

Рис. 128. Возможные погрешности при сборке машин:

Δ — величина расхождения размеров.

Размеры деталей проверяют работники отдела технического контроля. Большинство фактических размеров деталей находится около середины полей допусков. Однако в ряде случаев размеры деталей могут находиться у крайних пределов полей допуска.

Технолог на сборке должен ясно себе представлять, что необходимо делать, если фактические размеры деталей сложатся так, что замыкающие звенья размерных цепей выйдут за пределы назначенных допусков.

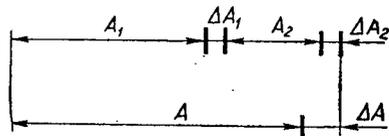


Рис. 129. Пример расчетной размерной цепи.

Методы сборки. Для получения требуемой точности замыкающего звена размерной цепи применяют следующие методы сборки: с полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью деталей, с пригонкой деталей и с регулированием размера замыкающего звена размерной цепи.

При сборке с полной взаимозаменяемостью деталей фактическая размерная цепь комплекта или узла складывается так, что величина фактического отклонения замыкающего звена ее всегда находится в пределах расчетной величины допуска на замыкающее звено.

Уравнение расчетной размерной цепи (рис. 129):

$$A_1 + \Delta A_1 + A_2 + \Delta A_2 = A + \Delta A,$$

или, так как

$$A_1 + A_2 = A,$$

то

$$\Delta A_1 + \Delta A_2 = \Delta A,$$

где ΔA_1 , ΔA_2 — отклонения размеров деталей от номинального размера; ΔA — отклонение размера замыкающего звена.

При сборке с неполной взаимозаменяемостью следует различать два случая. В первом случае из экономических соображений допуски устанавливают не на все размеры деталей. Предусматривается, следовательно, что на сборке будут пригоночные работы. Во втором случае на размеры деталей конструкторы устанавливают большие допуски, чем при расчете на полную взаимозаменяемость. При этом изготовление деталей более экономично, но некоторое количество замыкающих звеньев при сборке может выйти за пределы установленных допусков. При расчете отклонений замыкающего звена по методу неполной взаимозаменяемости принимают, что примерно 0,3 % фактических размеров деталей выходит за пределы полей допусков. Поэтому в ряде случаев необходимы пригонки, исправление или изготовление деталей, компенсирующих выявленные при сборке погрешности.

Разновидностью сборки с неполной взаимозаменяемостью деталей является метод группового подбора деталей при сборке, когда на размеры деталей устанавливают более широкие допуски, чем при методе полной взаимозаменяемости. Однако после изготовления детали сортируют по размерам на несколько групп, с более узкими групповыми допусками. Детали соответствующих групп при сборке соединяют так, что в сопряжениях обеспечивается заданная посадка при средних натягах или зазорах. Такую сборку называют селективной. Она обеспечивает групповую взаимозаменяемость.

Сборку с пригонкой применяют во всех трех случаях (рис. 128), когда фактический размер замыкающего звена размерной цепи выходит за пределы допуска.

В случае, показанном на рис. 128, а, требуемый размер замыкающего звена получается путем уменьшения размеров одной или нескольких деталей ручной или механической пригонкой. В случае, показанном на рис. 128, б, это достигается изготовлением новой детали

Рис. 130. Схема регулирования размера замыкающего звена размерной цепи с помощью компенсаторов:

1 — компенсатор-кольцо; 2 — подвижный компенсатор-втулка.

с большими размерами по длине, введением в узел дополнительной компенсирующей детали.

В третьем случае (рис. 128, в) применяют или пригонку деталей, или изготовление новых деталей, или обработку замыкающей детали одного узла с инструментом, установленным на другом узле. Например, в револьверных станках и револьверно-токарных автоматах, чтобы хорошо совпадали оси гнезд под оправки и втулки для инструментов с осью шпинделя, отверстия для них растачивают инструментом, закрепленным на оправке в шпинделе станка.

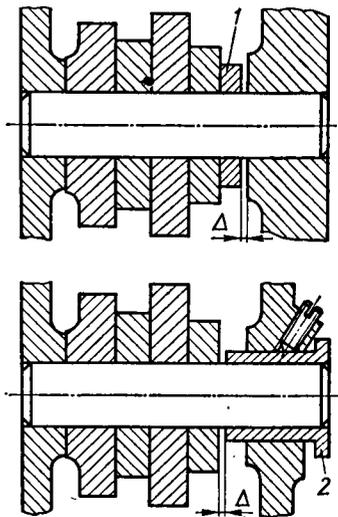
Сборку с регулированием размера замыкающего звена необходимо предусматривать при конструировании машины, так как для регулирования требуемого размера в конструкции должны входить дополнительные детали — компенсаторы (рис. 130).

Способы устранения выявленных погрешностей следует обосновать экономически. Если изготовление новых деталей компенсаторов и связанные с этим дополнительные работы и задержки на сборке будут стоить дороже, чем отбраковка деталей, размеры которых выходят за пределы установленных полей допусков, то надо принять метод полной или неполной взаимозаменяемости. Если же расходы на изготовление деталей по методу полной или неполной взаимозаменяемости и потери от брака будут больше стоимости пригонки или введения деталей компенсаторов, то следует применять метод пригонки или регулирования. Все эти вопросы должны решаться при конструировании машины и разработке технологии сборки.

В практике машиностроения определилось, что полную взаимозаменяемость применяют в массовом производстве, неполную взаимозаменяемость первого вида — в тяжелом и среднесерийном машиностроении, неполную взаимозаменяемость второго вида — в крупносерийном производстве, групповую взаимозаменяемость — в массовом производстве точных деталей (поршневые пальцы, детали шарико- и роликоподшипников, шатуны и т. п.).

Сборку с регулированием величины замыкающих звеньев размерных цепей можно применять в производстве любого типа и в любой машине, если это можно выполнить конструктивно и допустимо экономически.

Следовательно, у технолога на сборке единичных и серийных машин есть три средства доведения замыкающего звена размерной цепи до требуемого размера:



1) пригонка изготовленных деталей с помощью небольшой дополнительной механической обработки или опилования и пришабривания их;

2) изготовление новых специальных деталей, у которых увеличены или уменьшены размеры относительно размеров в рабочем чертеже;

3) изготовление дополнительных деталей (нерегулируемых компенсаторов) для устранения излишних зазоров.

Следовательно, технологичность конструкции с точки зрения требований сборки необходимо рассматривать в зависимости от масштабов выпуска машина. Например, при единичном и серийном производстве машина может быть технологичной по сборке, если предусматривается некоторое количество пригоночных работ или работ «по месту» (сверление, развертывание, нарезание резьбы). При конвейерной сборке в крупносерийном и массовом производстве пригоночные работы должны быть устранены.

В общем случае технологичной можно считать машину, составленную из узлов, которые можно ставить и снимать без разборки или съема других узлов, имеющую наименьшее количество стыковых поверхностей и крепежных деталей, не вызывающую неудобства работы сборщика. Технологичность конструкции по сборке можно также улучшить, вводя подвижные компенсаторы, позволяющие регулировать величину замыкающих звеньев размерных цепей.

По ГОСТ 18831—73 технологичность конструкции сборочной единицы — это совокупность свойств, проявляемых при оптимальных затратах труда, средств, материалов и времени для технической подготовки производства, изготовления, эксплуатации и ремонта, а также обеспечения технологичности изделия, в состав которого она входит.

§20. ВИДЫ СБОРКИ

В зависимости от масштаба выпуска машин в практике определились различные виды сборки: сборка на стенде единичных машин, сборка серии машин на стендах, сборка с перемещением сборочной бригады от стенда к стенду, поточная сборка без принудительного темпа движения объектов сборки, поточная сборка на конвейере с принудительным темпом движения объектов сборки.

Области применения различных видов сборки. Сборку машин разделяют на узловую и общую. Узловую выполняют на верстаках, общую — на стендах. Сборку на стенде единичных машин применяют в единичном производстве и в экспериментальных цехах, сборку с перемещением сборочных бригад от стенда к стенду — при серийном производстве крупных машин.

В крупносерийном производстве применяют поточную сборку без принудительного темпа движения объектов сборки. При этом мелкие узлы собирают на верстаках, узловую сборку крупных узлов можно выполнять на рольгангах, общую — на тележках.

Поточная сборка с принудительным темпом движения объектов сборки применяется в крупносерийном и массовом производстве.

Мелкие узлы также собираются на верстаках, а узловую сборку крупных узлов и общую сборку машин выполняют на конвейерах с принудительным темпом движения.

Для сборки всех видов выполняют примерно одинаковый комплекс слесарно-сборочных работ, но с помощью разных приемов, применимость которых зависит от типа производства. Из-за ограниченного объема данного курса ниже будут рассмотрены только наиболее важные приемы и способы сборки*.

§21. СПОСОБЫ СБОРКИ

Сборка неразъемных соединений. Неразъемные соединения деталей получают сваркой, паянием, склепыванием, склеиванием и запрессовкой. Способы сварки деталей изучают в специальном курсе, поэтому здесь они не рассматриваются.

Паяние выполняют с помощью припоев: мягких и твердых.

Мягкие припой изготовляют на оловянной основе, твердые припой — на медной основе. Для спаивания двух деталей мягким припоем поверхности тщательно очищают от окалины и смазочных веществ. Швы покрывают флюсом (например, $ZnCl_2$). Кончик нагретого паяльника протирают куском нашатыря (NH_4Cl). На облуженный нагретый паяльник берут припой и наносят его на соединяемые поверхности или паяльник прикладывает к палочке припоя, расплавляемой на шве. Твердые припой расплавляют газовой горелкой или разогревают до необходимой температуры в пламенной или электрической печи.

Склепывание в большинстве случаев заменяют сваркой. Однако некоторые соединения склепывают мелкими медными и стальными заклепками. Медными заклепками диаметром от 1 до 8 мм приклепывают, например, такие детали, как ферродо к дискам сцепления автомобиля, асбестовые прокладки и кожу в тормозных устройствах и т. п.

Стальные заклепки служат для соединения мелких деталей, кожухов, легких кронштейнов. Заклепки диаметром 8—9 мм применяют без нагрева, заклепки больших размеров нагревают до температуры 800—900 °С и расклепывают горячими. При большом объеме клепальных работ применяют специальные клепальные прессы или автоматы (рис. 131).

Склеивание деталей получило в последние годы некоторое распространение. Клеевые соединения хорошо сопротивляются сдвигу и значительным динамическим нагруз-

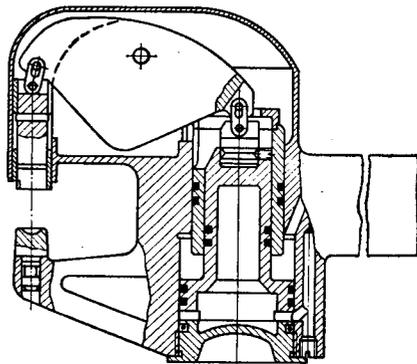


Рис. 131. Клевальный пресс.

* Подробное описание процессов сборки есть в [7], [9].

кам. Однако тепловая стойкость их не превышает 90 °С. В качестве основной части клея применяют эпоксидную смолу ЭД5 или ЭД6 (~67 %) в смеси с дибутилфталатом (~13 %), полиэтилен-полиаминном (~7 %) и портландцементом (~13 %). Этим клеем достаточно прочно склеивают текстолит — чугуны, текстолит — сталь, бронзу — чугуны (прочность при сдвиге до 90—100 кгс/см²).

Нашей промышленностью выпускаются и другие клеи (ВК-32, ЭМ, эпоксид ПР, Л-4 и др.).

Склеиваемые поверхности деталей очищают, обезжиривают и соединяют в большинстве случаев без давления. При склеивании деталей из листового материала прикладывают небольшое давление порядка 0,5—1 кгс/см².

Запрессовка деталей — это соединение деталей с натягом при помощи различных ручных и механических прессов. В настоящее время запрессовкой называют также соединение при нагреве охватываемой детали, соединение при охлаждении охватываемой детали и соединение при нагреве охватываемой и охлаждении охватываемой детали.

Запрессовка с применением нагрева или охлаждения деталей в 2—2,5 раза повышает прочность соединения по сравнению с соединениями, полученными при холодной запрессовке, вследствие того, что микронеровности на соединяемых поверхностях деталей не сглаживаются. Мелкие и средние детали нагревают в масляных или водяных ваннах; для крупных деталей выполняют местный нагрев газовым пламенем или индуктором ТВЧ. Мелкие детали охлаждают в термостате с сухим льдом (температура до —75 °С), крупные — в холодильной установке.

Величину расширения или сжатия детали определяют по известной из курса физики формуле, мм,

$$\Delta = D_0 \alpha t, \quad (73)$$

где D_0 — диаметр детали (ступени) до нагрева, мм; α — коэффициент линейного расширения, для закаленной стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$; t — температура нагрева (охлаждения) детали, °С.

Если задается величина требуемого расширения Δ , то из формулы (73) определяют температуру, до которой необходимо нагреть деталь, чтобы получить расширение заданной величины.

Величину температуры, до которой следует нагреть деталь диаметром $D_0 = 50$ мм, чтобы она расширилась на $\Delta = 0,04$ мм, определяем из формулы (73)

$$t = \frac{\Delta}{D_0 \alpha} = \frac{0,04}{50 \cdot 12 \cdot 10^{-6}} \approx 67 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Если температура помещения $t_0 = 18$ °С, то температура ванны

$$t_b = t + t_0 = 67 + 18 = 85 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

В зависимости от химического состава стали коэффициент линейного расширения α может изменяться. Поэтому по измерению первых нагретых (охлажденных) деталей можно определить поправку на величину температуры нагрева (охлаждения).

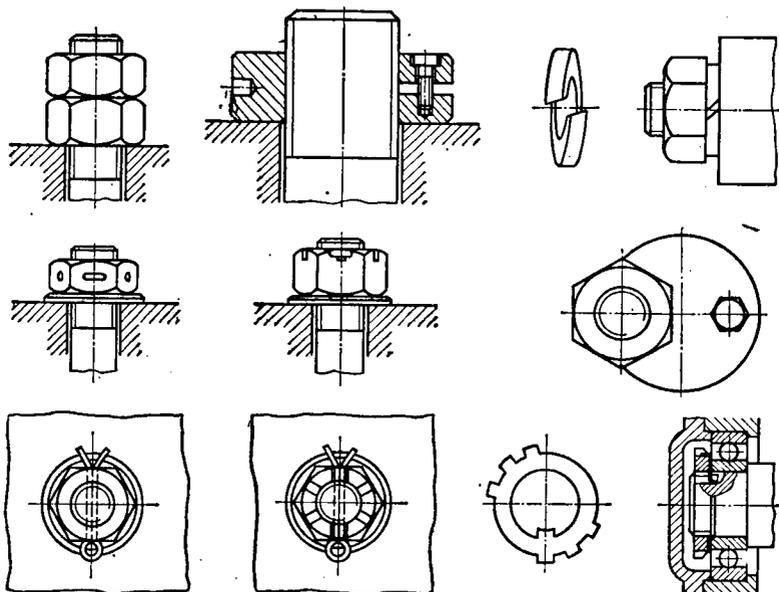


Рис. 132. Детали, применяемые для предохранения самоотвинчивания гаек.

При работе с нагретыми и охлажденными деталями необходимо соблюдать правила техники безопасности. Вынимая детали из масляной ванны или термостата, следует пользоваться специальными клещами и работать в брезентовых рукавицах.

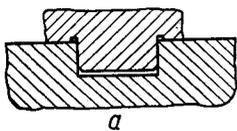
Сборка разъемных соединений. Разъемные соединения скрепляют крепежными деталями: болтами и гайками, винтами, шпильками, контрольными штифтами и т. п. (рис. 97).

Сборка с резьбовыми крепежными деталями имеет некоторые особенности: сборку делят на точную, средней точности и грубую. Номинальные диаметры сверл для сверления отверстий под болты, винты и шпильки выбирают по ГОСТ 885—77. Например, под болт диаметром 16 мм предусмотрены диаметры сверл: для точной сборки 16,5 мм, для сборки средней точности 17, для грубой 19 мм.

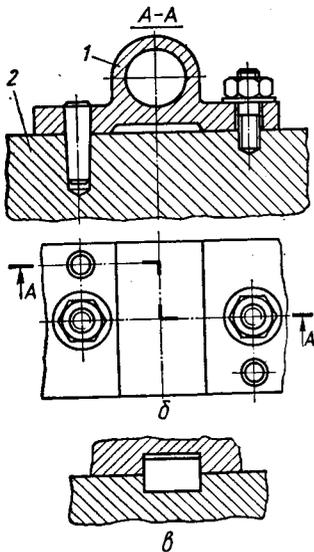
Фактический размер отверстия под болт несколько больше диаметра сверла (на 0,15—0,12 мм) из-за погрешностей установки сверла и разбивки отверстия при сверлении.

За счет зазоров между болтом (шпилькой, винтом) и отверстием соединяемые детали при сборке могут несколько смещаться одна относительно другой, что облегчает выверку и регулирование положения деталей. Однако при эксплуатации машины даже хорошо затянутые гайками болты и шпильки не гарантируют соединенные детали от относительного смещения в пределах имеющегося зазора. Вибрации, возникающие при работе машин, вызывают самоотвинчивание резьбовых деталей и ослабление связи в соединениях.

Чтобы предохранить резьбовые детали от самоотвинчивания, применяют различные дополнительные детали, например замки, пружин-



а



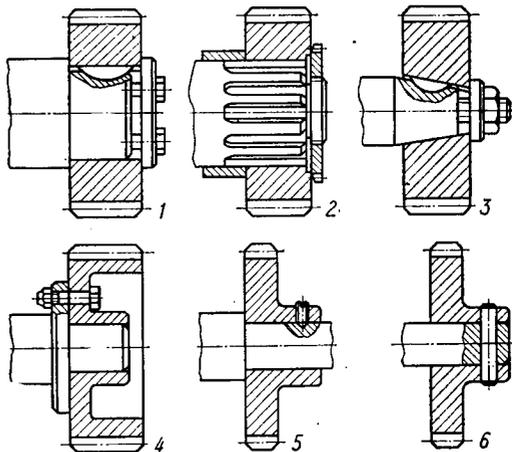
б

Рис. 133. Фиксация относительного положения детали с помощью:

а — шпоночного выступа; б — конических штифтов; в — шпонки.

Рис. 134. К способам установки и закрепления зубчатых колес на валах:

1 — на цилиндрической части; 2 — на шлицевой части; 3 — на конической части; 4 — на фланце; 5 — закрепление винтом; 6 — закрепление штифтом.



ные шайбы и т. п. (рис. 132). Наиболее надежные средства, препятствующие относительному смещению деталей в процессе эксплуатации — это применение шпоночных соединений и закрепление относительного положения деталей контрольными штифтами (рис. 133). Шпоночные выступы (шпонки) применяют тогда, когда при сборке требуется точная ориентация одной детали относительно другой. Контрольные штифты применяют для фиксации детали в определенном положении после выверки. Контрольные штифты ставят парами в наиболее удаленных точках присоединяемой детали.

В серийном производстве на одной из соединяемых деталей (обычно на меньшей) сверлят отверстие под конусный штифт по меньшему диаметру конуса. Такие отверстия сверлят в механическом цехе. На чертеже сопрягаемой детали 2 у отверстия под конический штифт делают надпись «сверлить и развернуть, под штифт конический $d \times l$ ГОСТ ...». Деталь 1 служит при этом как бы кондуктором для сверления отверстия под штифт в детали 2. Сверла выбирают по меньшему диаметру конуса. После сверления отверстие в обеих деталях развертывают совместно конической разверткой и в него вставляют штифт.

Сборка шариковых и роликовых подшипников. От правильной сборки подшипников в значительной степени зависит работоспособность и точность машины. Главные задачи при сборке таких деталей следующие: избежать перекосов наружных и внутренних колец, снабдить движущиеся детали подшипника доброкачественной смазкой,

предохранить подшипники и смазку от грязи, стружки и абразивной пыли. Если эти условия не соблюдаются, подшипниковые узлы в эксплуатации быстро нагреваются, шарики (ролики, иглы) отпускаются, в результате чего узел теряет работоспособность.

Поэтому при сборке шариковых и роликовых подшипников следует соблюдать следующие правила:

1) нельзя открывать упаковку подшипника до установки его на место;

2) при установке надо промыть подшипник смесью бензина и 6 %-го машинного масла;

3) необходимо высушить подшипник в струе воздуха;

4) подшипник надо смазать перед установкой на место свежей смазкой того состава, который требуется по техническим условиям.

Чтобы не было перекосов колец при посадке на место, рекомендуется применять нагрев либо охлаждение соответствующих колец (при разборных подшипниках) или целых, неразборных, подшипников.

Как известно из курса основ взаимозаменяемости, при напряженной или тугой посадке устанавливают кольца, вращающиеся вместе с той деталью, на которую (или в которую) их устанавливают. Если вращается вал, то с такими посадками устанавливают внутренние кольца на вал. Если вращается корпус, то с этими посадками устанавливают в корпус наружное кольцо. Поэтому при посадке на вал внутреннее кольцо нагревают в масляной ванне в течение 15—20 мин до температуры, определенной расчетом. При посадке наружного кольца в корпус кольцо или подшипник охлаждают в термостате с твердой углекислотой до температуры (-70°) — (-75°C) в течение 15—20 мин.

Сборка цилиндрических зубчатых передач. При сборке зубчатых передач зубчатые колеса устанавливают на валы, а комплекты с зубчатыми колесами — в корпус передачи. Способы установки и закрепления цилиндрических зубчатых колес на валах показаны на рис. 134.

После установки комплектов в корпус передачи проверяют правильность зацепления зубчатых колес.

Для колес каждой степени точности устанавливают нормы кинематической точности, плавности работы колеса и достаточного пятна контакта зубьев.

Нормы кинематической точности определяют величину полной погрешности угла поворота зубчатых колес за один оборот. Нормы плавности работы колеса определяют величину составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся за один оборот.

Величина пятна контакта зубьев в передачах, наиболее часто применяемых в машиностроении, указана в табл. 55. Независимо от степени точности колес и передач устанавливают нормы гарантированного бокового зазора и допуски на межцентровое расстояние.

Боковой зазор необходим для того, чтобы при работе передачи разогрев и расширение колес не вызывали заклинивания их.

Таблица 55. Размер пятен контакта в цилиндрических зубчатых колесах

Степень точности передачи	Пятно контакта, %	
	по высоте зуба, не менее	по длине зуба, не менее
6	50	70
7	45	60
8	40	50

Таблица 56. Гарантированный боковой зазор и отклонения межцентрового расстояния в микрометрах (при расстоянии 320—500 мм)

Вид сопряжения	Боковой зазор	Допуск на межцентровое расстояние
С	0	± 60
Д	130	± 100
Х	260	± 160
Ш	530	± 250

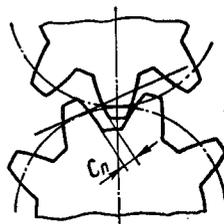


Рис. 135. Боковой зазор между зубьями зубчатой передачи.

Сопряжения с гарантированными боковыми зазорами обозначают следующим образом:

Сопряжение	Обозначение
С нулевым зазором	С
С уменьшенным зазором	Д
С нормальным зазором	Х
С увеличенным зазором	Ш

Зазор определяют в сечении, перпендикулярном к оси колеса, в плоскости, касательной к основным цилиндрам (рис. 135). Величина гарантированного бокового зазора для передач, чаще всего применяемых в среднем машиностроении, приведена в табл. 56.

Необходимо также соблюдать межцентровые расстояния в пределах установленных допусков, указанных в той же таблице.

Величину бокового зазора проверяют по щупу (при открытых торцах зубчатых колес) или прокатыванием между зубьями свинцовой проволоки. Толщину сплюснутых проволочек измеряют микрометром или штангенциркулем. Существуют также приспособления для проверки величины бокового зазора.

Правильность зацепления зубчатых колес проверяют по краске. Меньшее колесо окрашивают берлинской лазурью, смешанной с машинным маслом. При вращении колес краска должна оставлять след на зубьях большого колеса (пятно контакта) не меньшей величины, чем указано в табл. 57.

При неудовлетворительном зацеплении подбирают другие зубчатые колеса.

Особенности сборки передач с коническими зубчатыми колесами. Нормы кинематической точности, плавности работы колес и допуски для конических зубчатых передач принимают по ГОСТ 1758—81.

Величина пятна контакта зубьев в передачах, чаще всего применяющихся в машиностроении, приведена в табл. 57.

Гарантированный боковой зазор определяют в микрометрах по нормали к поверхности зубьев у большого основания делительного конуса и назначают в зависимости от длины образующей делительного

Таблица 57. Пятна контакта

Степень точности передачи	6	7	8
Пятно контакта, % (по высоте и по длине зуба, не менее)	70	60	50

Таблица 58. Боковые зазоры

Вид сопряжения	С	Д	Х	Ш
Гарантированный боковой зазор, мкм	0	50	100	210

конуса. Для этой длины в пределах 50—80 мм задают зазоры, приведенные в табл. 58.

Зазоры в передачах с коническими колесами проверяют так же, как в передачах с цилиндрическими колесами. Однако правильность зацепления конических колес из-за особенностей формы их достичь труднее, чем при сборке передач с цилиндрическими колесами, так как образующие зубьев расположены по углу конуса и зубья имеют переменную толщину.

Чтобы боковой зазор был в требуемых пределах, применяют или неподвижный компенсатор 1 в виде кольца либо прокладок (рис. 136, а), толщину которых определяют в процессе сборки, или подвижный компенсатор 2 (рис. 136, б), который необходимо предусмотреть при проектировании передач.

Правильность зацепления конических колес проверяют также по пятну контакта. Для ненагруженной передачи пятно контакта на втором колесе должно быть смещено к вершине конуса (рис. 137). Под действием нагрузки при работе передачи колеса и опоры несколько деформируются и пятно контакта перемещается к середине зуба.

Необходимой величины бокового зазора и пятна контакта достигают при сборке, перемещая одно колесо вдоль вала подвижным компенсатором или подбирая неподвижный компенсатор.

Особенности сборки червячных передач. Допуски червячных передач установлены ГОСТ 3675—81. В стандарте приведены нормы точности и допуски для кинематических червячных передач (с регулируемым взаимным расположением червяка и колеса) и для силовых передач (с нерегулируемым взаимным расположением червяка и колеса). Здесь рассмотрены только силовые передачи, для которых установле-

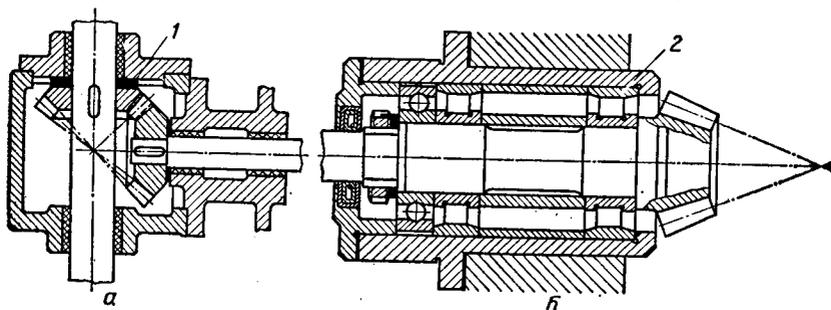


Рис. 136. Компенсаторы в конструкции конической зубчатой передачи:
1 — неподвижный; 2 — подвижный.

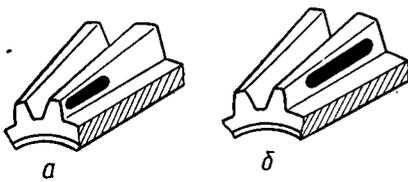


Рис. 137. Пятно контакта при конической передаче:
а — ненагруженной; б — нагруженной.

ны нормы точности монтажа. Кроме того, установлены нормы бокового зазора.

Точность монтажа проверяют по пятну контакта (табл. 59).

Гарантированный боковой зазор определяют по нормали к боковым поверхностям зубьев. Для передач с межосевым расстоянием 160—320 мм боковой зазор устанавливают в пределах, указанных в табл. 60.

Кроме боковых зазоров, в зацеплении червяка с колесом должна совпадать средняя плоскость колеса с осью червяка (рис. 138) и быть достаточной точность угла между осями вращения червяка и колеса. Для передачи с межосевым расстоянием 160—320 мм величина $\Delta = +21$ мкм.

Среднюю плоскость колеса с осью червяка совмещают с помощью подвижного или неподвижного компенсатора. Точность угла между осями вращения червяка и колеса обеспечивается расчетом размерных цепей при проектировании передачи. На сборке вследствие возможных неблагоприятных комбинаций погрешностей изготовления точность угла скрещивания осей может выходить за заданные пределы. Точность угла скрещивания можно повысить, регулируя положение эксцентриситета колец подшипников.

Правильность зацепления колеса с червяком проверяют по краске. При проворачивании смазанного краской червяка равномерность покрытия зубьев колеса краской должна быть не менее, чем указано в табл. 59 (рис. 139).

Балансировка деталей и узлов. В связи с увеличением быстроходности машин и частоты вращения некоторых деталей машин и узлов (шпинделей, роторов, дисков и т. п.) повышаются требования к уравниванию их. При недостаточной уравниваемости вращающихся деталей, как известно, возникают вынужденные колебания, приводящие к повышенному износу опор, подшипников, а в некоторых

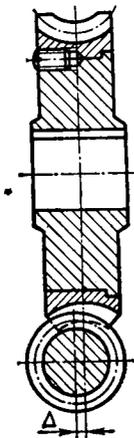


Рис. 138. Возможное смещение осей колеса и червяка в червячной передаче.

Рис. 139. Расположение пятна контакта на зубе червячного колеса при правильном зацеплении его с червяком.

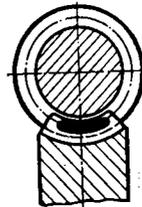


Таблица 59. Пятно контакта
в червячных передачах

Степень точности передачи	Пятно контакта, не менее, %	
	по высоте зуба	по длине зуба
6	60	70
7	60	65
8	50	50

Таблица 60. Боковые зазоры

Вид сопряжения	Г	Д	Х	Ш
Гарантированный боковой зазор, мкм	0	95	190	380

случаях — даже к разрушению машины. Балансируют отдельные детали, например коленчатые валы, в механическом цехе. На сборке выполняют балансировку узлов или комплектов (например, ротора электродвигателя в сборе). В обоих случаях методы балансировки одинаковы.

Балансировку разделяют на статическую и динамическую. Вращающаяся деталь уравнивается, как известно, тогда, когда центр тяжести детали и главная ось инерции совпадают с осью вращения. Неуравновешенность детали можно рассматривать как сумму неуравновешенности, вызывающей центробежную силу, и неуравновешенности, вызывающей пару сил. Расчетная схема для первого случая показана на рис. 140, а. Обозначим через P_n — силу тяжести, вызываемую неуравновешенной массой; P — центробежную силу; r — расстояние неуравновешенной массы от оси вращения; ω — угловую скорость вращения детали.

Неуравновешенная масса вызывает центробежную силу

$$P = mr\omega^2,$$

где $m = \frac{P_n}{g}$ — неуравновешенная масса; $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$ — ускорение силы тяжести; $\omega = \frac{\pi n}{30} \frac{1}{с}$ — угловая скорость вращения детали.

Центробежная сила оказывает дополнительные нагрузки на подшипники. Величину этих нагрузок определяют из уравнения моментов относительно опорных точек А и Б:

$$\begin{aligned} Pa - P_2 l &= 0; \\ -Pb + P_1 l &= 0; \end{aligned}$$

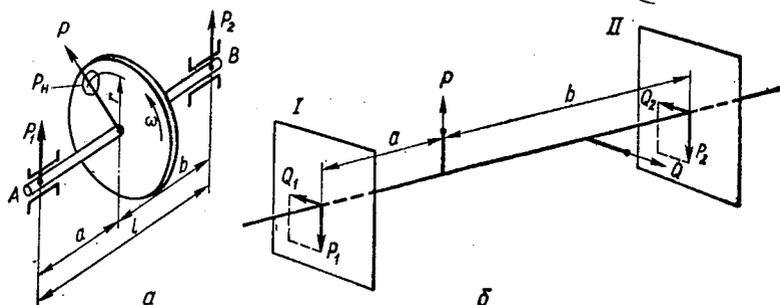


Рис. 140. Уравнивание сил при балансировке:
а — статической; б — динамической.

откуда

$$P_2 = P \frac{a}{l};$$

$$P_1 = P \frac{b}{l},$$

где P_1 и P_2 — опорные реакции.

Задача статической балансировки — найти неуравновешенную массу и уравновесить ее.

Если неуравновешенную деталь (комплект в сборе) поставить на горизонтальные направляющие, то сила P_n будет создавать крутящий момент

$$M_n = P_n r,$$

пока неуравновешенная часть не займет крайнего нижнего положения.

Величину уравновешивающего груза P_y подбирают так, чтобы соблюдалось равенство

$$P_y r_2 = P_n r_1.$$

Тогда

$$P_y = P_n \frac{r_1}{r_2}.$$

Уравновешенная деталь при перекатывании по горизонтальным направляющим должна находиться в состоянии безразличного равновесия.

Точность статической балансировки определяют по моменту сопротивления качения вала (оправки) на направляющих, г · см:

$$M = fG \frac{d}{2},$$

где f — коэффициент трения стали по стали (0,001—0,004); G — масса детали (комплекта), г; d — диаметр вала (оправки), см.

Точность статической балансировки на ножевых направляющих равна примерно 70 г · см. Статическую балансировку применяют для деталей, у которых $l/d < 3$ и скорость вращения $v < 6$ м/с. Если $l/d > 3$ и $v > 6$ м/с, необходима динамическая балансировка. При динамическом уравновешивании массу и место установки уравновешивающих грузов (или место удаления металла) определяют во время вращения детали. Это позволяет провести уравновешивание с большей точностью.

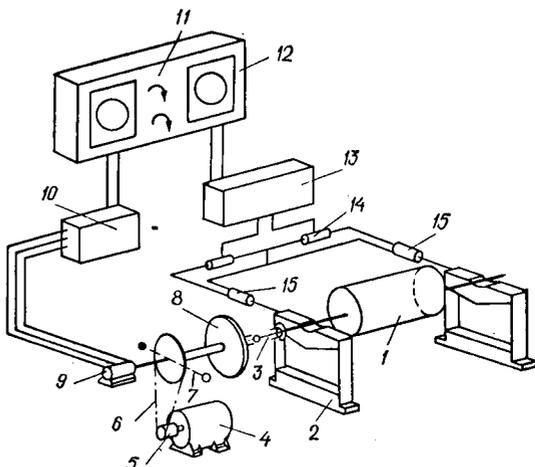
Рассмотрим длинную цилиндрическую деталь как жесткое, недеформирующееся тело. Допустим, что в статическом состоянии деталь уравновешена.

Предположим в общем случае, что у детали есть две неуравновешенные массы (рис. 140, б). Во время вращения эти массы создают неуравновешенные центробежные силы P и Q , стремящиеся вырвать деталь из подшипников и вызывающие вибрации машины.

Допустим, что грузы, необходимые для уравновешивания, должны быть расположены в плоскостях поперечных сечений I и II . Центробежная сила P уравновешивается силами P_1 и P_2 . Величины этих сил

Рис. 141. Схема устройства балансировочного станка:

1 — балансируемая деталь; 2 — упругий суппорт; 3 — карданный вал; 4 — мотор; 5 — пусковое устройство; 6 — ременный привод; 7 — тормоз; 8 — градуированный диск; 9 — фазовый генератор; 10 — селектор для компенсации дисбаланса по двум компонентам; 11 — регулятор для отсчета в граммах; 12 — прибор для отсчета величины и положения дисбаланса; 13 — электронный усилитель; 14 — контур для компенсации остаточных моментов; 15 — датчики.



определяются из уравнений статики:

$$P_1 + P_2 = P;$$

$$P_1 a = P_2 b.$$

Аналогично сила Q может быть уравновешена силами Q_1 и Q_2 . Равнодействующие сил P_1 , Q_1 и P_2 , Q_2 соответственно в плоскостях I и II определяют величины и положения уравновешивающих грузов.

На современных балансировочных станках место нахождения неуравновешенных масс определяют по методу измерения амплитуд колебания опор вращающейся детали или по методу измерения сил, действующих на опоры детали. Станки снабжают электрическими измерительными устройствами, которые позволяют преобразовывать элементы механических колебаний (например, амплитуд) в электрический сигнал и однозначно определять величину и место расположения уравновешивающих грузов. Схема балансировочного станка показана на рис. 141. Упругие опоры соединены с индукционными датчиками. Фазовый генератор 9 определяет положение неуравновешенных масс. Переменный ток, генерируемый им, имеет частоту, равную числу оборотов в секунду ротора 1, его фаза зависит от расположения неуравновешенных масс. Токи от индукционных датчиков 15 и фазового генератора 9 с помощью соответствующих усилителей питают измерительную аппаратуру 11. Положение и величину неуравновешенных масс определяют по шкалам приборов 12.

Найдя величину и положение неуравновешенных масс, дисбалансы устраняют двумя методами: 1) добавлением уравновешивающих грузов к ротору или 2) удалением с него лишнего металла в плоскостях исправления. При использовании первого метода дисбаланс устраняют, приваривая к ротору пластинки металла, прикрепляя пластинки винтами, добавляя к ротору эксцентричные кольца или винты известного веса, запрессовывая в заранее подготовленное отверстие цилиндрики из тяжелого металла (свинца, бронзы). При использовании второго метода дисбаланс устраняют сверлением отверстий расчетной глубины и диаметра, а также шлифованием, фрезерованием и опилением (это требует нескольких балансировок). Небольшие дисбалансы и на небольших деталях нужно устранить химическим травлением частей ротора.

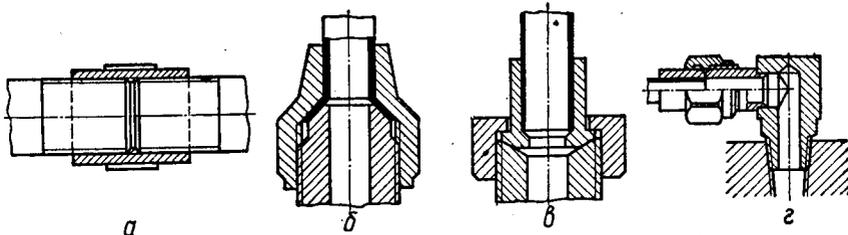


Рис. 142. Соединения труб с элементами гидро- и пневмосистем:
 а — сливные трубы; б — трубы низкого давления; в — трубы повышенного давления; г —
 трубы со штуцером.

Сборка трубопроводов. В связи с развитием гидро- и пневмоавтоматики количество различных трубопроводов в машинах за последнее время возросло. Трубопроводы применяются в системах смазки, охлаждения, подачи топлива, в системах гидро- и пневмоуправления. От правильной сборки трубопроводов в значительной степени зависит надежность работы машины и в особенности автоматических систем.

По характеру применяемого давления трубопроводы разделяют на трубопроводы низкого давления (до 20 кгс/см²), повышенного давления (свыше 20 кгс/см² до 100 кгс/см²) и высокого (свыше 100 кгс/см²).

Трубопроводы должны соответствовать принятому давлению, быть герметичными (непроницаемыми) на отдельных участках и в местах соединений труб с золотниками, клапанами, дросселями и другими элементами гидро- и пневмосистем. Формы соединений труб между собой и с элементами гидро- и пневмосистем показаны на рис. 142. Для малых давлений применяют трубы медные, латунные и сварные стальные (последние преимущественно в системах охлаждения). Стальные цельнотянутые трубы применяют для высокого давления (свыше 100 кгс/см²), главным образом в системах топливоподачи двигателей внутреннего сгорания.

Диаметр трубы условно измеряют по внутреннему диаметру отверстия в дюймах. В трубах с резьбой наружный диаметр резьбы больше обозначенного диаметра трубы на удвоенную толщину ее стенки.

Для соединения труб между собой и с элементами гидро- и пневмосистем применяют резьбы двух видов: трубную цилиндрическую (ГОСТ 6357—81) и трубную коническую (ГОСТ 6211—81). Трубная цилиндрическая резьба имеет небольшую глубину, мелкий шаг и хорошую герметичность. Применяется для давлений до 25 кгс/см². Конические резьбы применяют в соединениях, где должна быть обеспечена герметичность без уплотняющих материалов. Могут применяться до давлений 50—70 кгс/см².

Стальные трубы диаметром до 1/2 дюйма изгибают в холодную на специальных трубозагибочных приспособлениях. Трубы диаметром свыше 1/2 дюйма изгибают с местным подогревом газовой горелкой до температуры 600 °С. Радиус закругления должен быть не меньше четырех диаметров трубы. Отверстие трубы засыпают сухим песком. Медные и латунные трубы малого диаметра (1/4—3/8 дюйма) изгибают

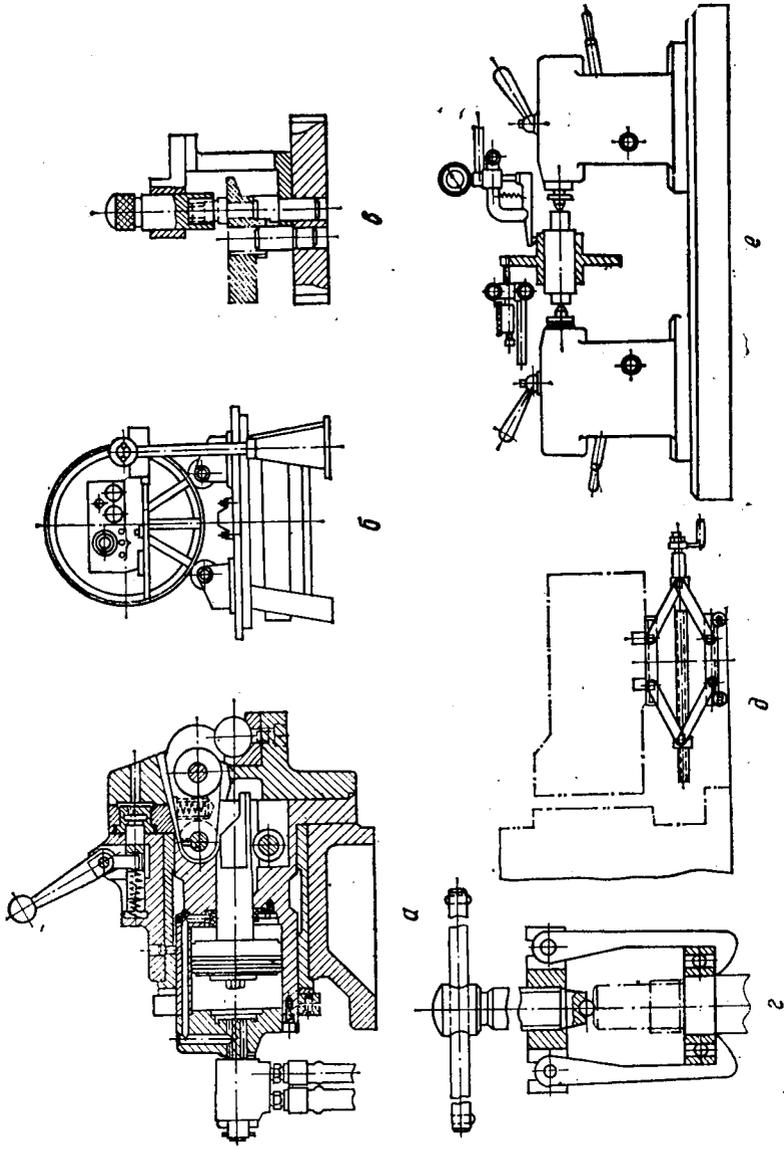


Рис. 143. Сборочные приспособления.

вручную без нагрева. Трубы большого диаметра, как и стальные, изгибают с подогревом.

Сборочные приспособления проектируют по общим правилам [7]. При проектировании необходимо принимать во внимание масштаб выпуска (при малом выпуске приспособление может быть неэкономично), качество сборки (несмотря на неэкономичность без приспособления нельзя достичь требуемой точности сборки), безопасность и удобство обслуживания приспособления. Примеры сборочных приспособлений различного назначения приведены на рис. 143.

Приспособления, применяемые при сборке, можно разделить на следующие группы:

а) для закрепления деталей и узлов при выполнении сборочных операций (рис. 143, а);

б) для поворота деталей и узлов в положение, удобное для сборщика (рис. 143, б);

в) для запрессовки и съема деталей в случае необходимости (рис. 143, в, з).

г) для перемещения или подъема деталей на рабочих местах (рис. 143, д);

д) для контроля правильности сборки (рис. 143, е).

В каждой группе приспособлений могут быть приспособления универсальные, пригодные для сборки узлов различных машин, и специальные, пригодные для сборки каких-либо определенных узлов.

§22. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Исходными данными при разработке технологического процесса сборки являются: сборочные чертежи узлов и машины в целом; спецификации деталей по узлам; технические условия на приемку узлов и машины; программа выпуска. Масштаб выпуска, а следовательно, и тип производства определяют еще при проектировании машины. Для крупносерийного и массового производства в соответствии с программой определяют такт выпуска машин.

Тактом выпуска называют промежуток времени t , через который собранное изделие выходит со сборки, мин,

$$t = \frac{\eta\Phi}{n},$$

где Φ — годовой фонд времени при работе в одну смену, мин; η — коэффициент использования рабочего времени; n — годовой выпуск изделий, шт.

Разработка технологического процесса производится после изучения сборочных чертежей и технических условий. Определяют сборочные единицы и размер партий в зависимости от типа производства и такта сборки. Выбирают вид сборки (стационарную, подвижную или другую). Главным документом является карта технологического процесса сборки. В технологических картах помещают необходимые данные для планирования и выполнения сборочных операций. Для еди-

Таблица 61

Завод				Карта процесса сборки узла				Цех №	
				Тип машины	Наименование узла	№ сборочного чертежа		Лист	Всего листов
Собираемые детали				№ сборочной операции	Содержание операций	Приспособления и оборудование	Инструмент	Разряд работы	Норма времени
№ комплекта	№ звеньев	№ деталей	Количество						
Составил				Проверил	Утвердил	Итого на узел			

Завод				Карта процесса общей сборки						Цех		Всего листов	
				Узлы		Комплекты		Вес	Транспортные средства	Инструменты, приспособления	Разряд работы	Количество рабочих	Норма времени
№ сборочной операции	№ по порядку	Наименование и описание	Наименование	№	Наименование	№	№ деталей						
Составил				Проверил				Утвердил				Всего на сборку	

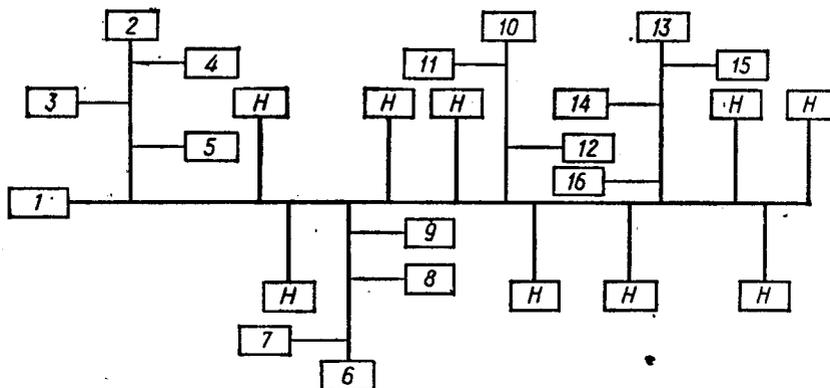


Рис. 144. Схема сборки узла:

1 — базисная деталь узла; 2, 6, 10, 13 — базисные детали комплектов; 3, 4, 5 и т. д. — детали комплектов; Н — нормали и крепежные детали.

ничного и мелкосерийного производства составляют маршрутную технологию сборки узлов и общей сборки, для серийного производства — маршрутную карту по сборке комплектов и узлов с бóльшей детализацией процессов сборки (табл. 61), в крупносерийном и массовом производстве — операционные сборочные карты.

Кроме общих сведений, связанных с собираемой машиной (наименование машины, узла, программа, номер чертежа и т. п.), в картах указывают наименование и описание операции (перехода), необходимые инструменты и приспособления, время выполнения операции (перехода), разряд работы и нормы времени на выполнение работ. В операционных картах часто показывают эскизы звеньев, комплектов и подузлов.

Операцией в сборочном процессе называют комплекс работ по узлу (комплекту), производимых на одном рабочем месте до передачи узла (комплекта) на другое рабочее место.

Переходом называют часть операции (отдельные действия) по сборке одного узла (комплекта).

После составления технологических карт полезно составить схему сборки (рис. 144), в которой видна последовательность сборки оригинальных, нормальных, покупных деталей в узлах и последовательность сборки комплектов и узлов. Такие схемы позволяют ускорить освоение сборки и комплектование ее деталями, комплектами и узлами.

§23. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

Трудоемкость сборочных работ в среднем машиностроении составляет 25—40 % общей трудоемкости. Большинство работ выполняют вручную. Чтобы уменьшить трудоемкость этих работ, необходимо:

1) улучшать технологичность деталей и узлов на основе требования лучшей собираемости;

2) повышать степень взаимозаменяемости деталей;

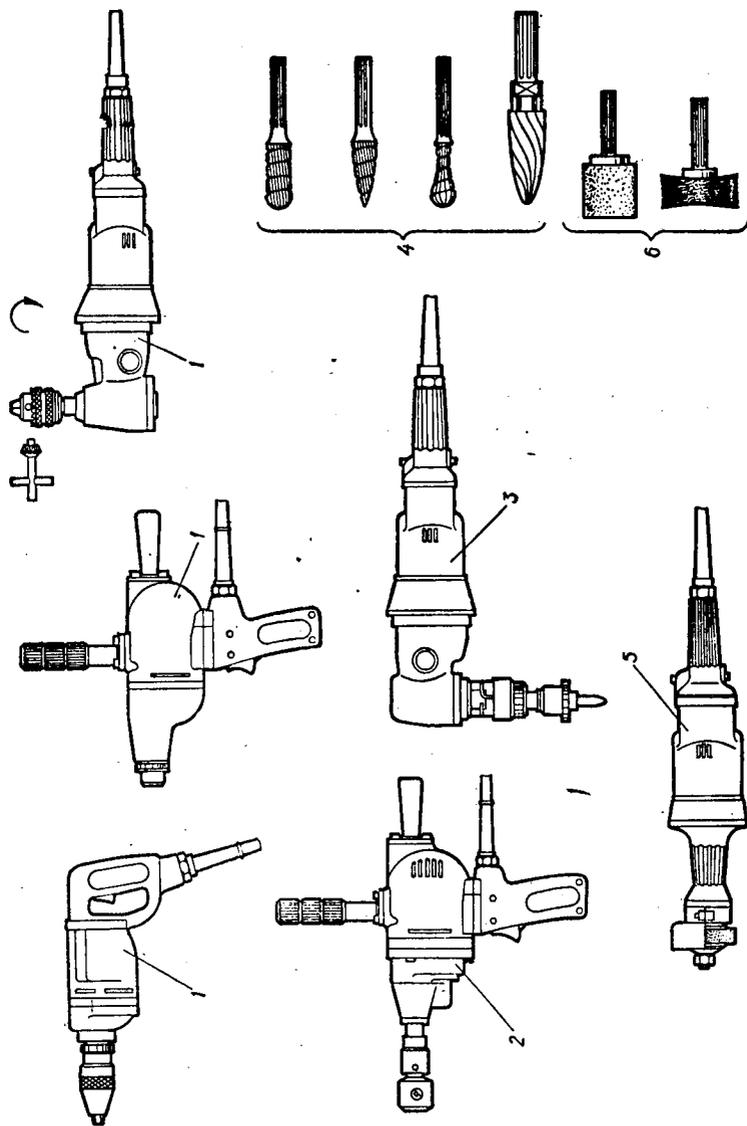


Рис. 145. Средства механизации слесарных работ:
 1 — электродрель; 2 — разьбонарезная дрель; 3 — механическая отвертка; 4 — механические напильники; 5 — переносная шлифовальная машинка; 6 — шлифовальные и полиральные круги.

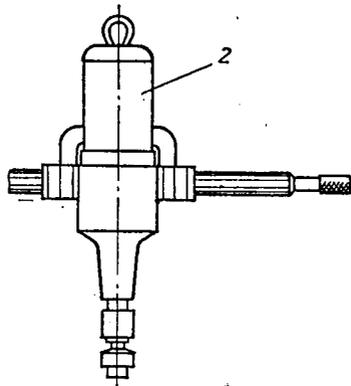
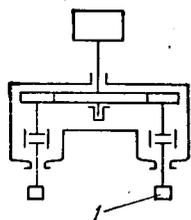


Рис. 146. Средства механизации сборочных работ:
1 — гайковерт; 2 — шпильковерт.

3) унифицировать элементы и конструкцию деталей машин и узлов;

4) создавать конструкции из свободно отнимаемых узлов;

5) механизировать и автоматизировать процессы сборки.

Первые четыре мероприятия дают эффект и при обычных методах сборки и, кроме того, служат предпосылками для разработки и внедрения методов механизации и автоматизации сборки.

Средства механизации могут служить для механизации слесарно-сборочных работ и для механизации транспортных операций. При слесарно-сборочных работах в серийном машиностроении применяют пневматические и электрические дрели для сверления небольших отверстий по месту, механические напильники, переносные шлифовальные машинки и пр. (рис. 145). В крупносерийном и массовом поточном производстве на рабочих местах широко применяют гайковерты, шпильковерты (рис. 146).

Для транспортирования тяжелых узлов, станин и собранных машин применяются мостовые краны. На узловой сборке используют местные подъемники, настенные краны, тельферы и пневматические подъемники (рис. 147). В крупносерийном и массовом поточном производстве до 85 % крупных узлов собирают на рольгангах, на цепных и пластинчатых конвейерах. Детали к местам сборки подаются на подвесных конвейерах, в некоторых случаях с автоматическим адресованием грузов (рис. 148). Для генеральной поточной сборки применяют также тележки на рельсах, шаговые конвейеры (станкостроительные заводы), цепные конвейеры (автотракторные заводы).

Автоматизация сборочных процессов * имеет большое значение для уменьшения трудоемкости сборочных работ, ибо 80—85 % их выполняется вручную. Однако автоматизация сборочных работ находится пока в зачаточном состоянии и применяется только в массовом и крупносерийном производстве.

Процесс автоматической сборки представляет собой сложную пространственную задачу. Для осуществления этого процесса требуются точные детали с высокой степенью идентичности размеров, сложные сборочные машины и приспособления. Иногда для улучшения собираемости и ориентирования деталей в подводящих и транспортирующих устройствах сборочных машин приходится перерабатывать кон-

* Основы автоматизации сборочных работ излагаются в курсе «Автоматизация производственных процессов в машиностроении».

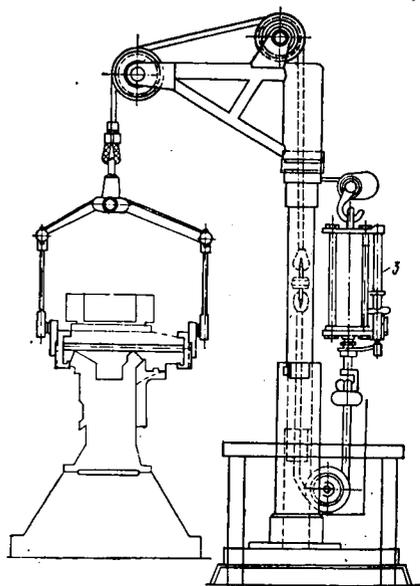
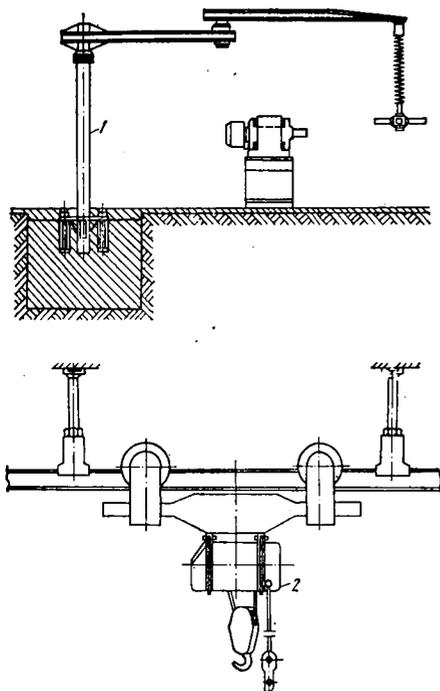


Рис. 147. Подъемные средства на сборочных местах:

1 — местный подъемник; 2 — тельфер; 3 — пневмоподъемник.

струкции собираемых деталей и узлов. Условия, необходимые для автоматической сборки, изучены еще недостаточно. Машины и приспособления для сборки в централизованном порядке пока не изготавливаются. Но на ряде заводов и научно-исследовательских институтов разработаны и изготовлены опытные конструкции сборочных машин.

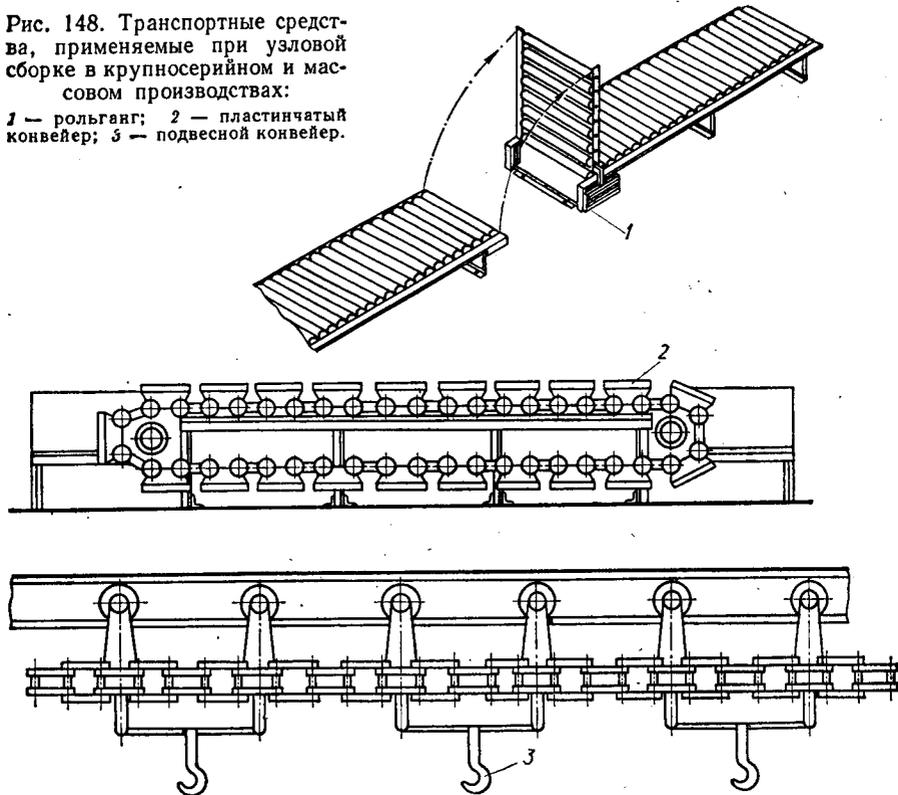
На некоторых заводах автомобильной промышленности автоматизирована сборка поршней с шатунами, запрессовка втулок в шатуны и рессоры, сборка радиаторов, бензофильтров, автомобильных колес, свечей зажигания. Изготовлена автоматическая линия для сборки автомобильных двигателей. На заводах других отраслей промышленности автоматизирована сборка комбайновых цепей и шарикоподшипников. Львовский политехнический институт разработал и изготовил роторную линию для сборки узлов топливной аппаратуры.

При проектировании процессов автоматической сборки необходимо, чтобы узлы содержали наименьшее возможное количество деталей. Для этого в ряде случаев соединяют несколько деталей в одну, применяют более сложные штамповки, отливки под давлением, по выплавляемым моделям, из порошков или детали из пластмасс.

Форма собираемых деталей должна облегчать ориентирование их в сборочных автоматах и питающих устройствах, препятствовать сцеплению, заклиниванию и слипанию при движении деталей. Для этого детали должны иметь простые геометрические формы (куб, шар, цилиндр) с симметричным расположением по наружному контуру

Рис. 148. Транспортные средства, применяемые при узловой сборке в крупносерийном и массовом производствах:

1 — рольганг; 2 — пластинчатый конвейер; 3 — подвесной конвейер.



отверстий, пазов, канавок, выступов. Иногда для удобства ориентирования деталей в сборочном автомате или питателе делают на них дополнительные канавки, отверстия, выступы.

§24. ИСПЫТАНИЕ УЗЛОВ И МАШИН

Программа испытаний машин каждого типа составляется в конструкторских отделах. Требования, включаемые в программы испытания, зависят от назначения машины (приложение 5). Весь объем испытания можно разделить на испытание (обкатку) наиболее важных узлов машин и на испытание машины в целом. Узлы обкатывают, постепенно увеличивая скорость вращения (движения) подвижных деталей (валов, зубчатых колес, муфт). Обкатывают обычно такие узлы, как двигатели транспортных машин, коробки скоростей машин всех типов, редукторы, насосы и т. п.

Дефекты, выявленные при обкатке узлов, устраняются скорее, проще и дешевле, чем при испытании полностью собранной машины. В последнем случае может потребоваться частичная или полная разборка машины, что всегда вызывает излишние потери времени и увеличивает издержки производства.

Как узлы, так и машину в целом испытывают на холостом ходу и под нагрузкой. Испытание под нагрузкой производится в соответствии с режимами, установленными техническими условиями при приемке узлов и машин. Нагрузку увеличивают постепенно. В связи со спецификой машин испытания проводятся на мощность, расход энергоносителя (тепловые машины), производительность, жесткость и точность (металлорежущие станки) и пр.

Результаты наблюдений при испытаниях вносят в журнал или акт испытаний. Образец акта испытаний приведен в приложении 5. Дефекты устраняют или на месте, или в отделе устранения дефектов, после чего машины испытывают повторно.

§25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ И СЕБЕСТОИМОСТИ СБОРКИ МАШИН

Трудоемкость сборочных работ определяют согласно приведенным в технологических картах нормам времени на выполнение отдельных операций. Точное нормирование сборочных работ пока еще не всегда возможно, так как многие работы выполняются вручную; время сборки нормируют на основе хронометражных наблюдений или на основе ранее найденных заводских опытно-статистических данных.

Однако проектную трудоемкость сборки при сравнении вариантов конструкций можно определить. Накопленные в промышленности материалы и опыт нормирования слесарно-сборочных работ при использовании методов математической статистики позволяют достаточно точно и быстро определить трудоемкость сборки по рабочим чертежам деталей и спецификациям узлов с погрешностью $\pm 10\%$ хронометражного времени.

Для многих слесарно-сборочных работ необходимо большое количество одинаковых по форме и близких по размерам деталей. Работы по сборке их повторяются многократно (завинчивание винтов, болтов, шпилек, гаек, пригонка шпонок, посадка деталей на валы и т. п.). Поэтому для предварительного подсчета трудоемкости сборки на основании закона больших чисел можно использовать средневзвешенные размеры деталей.

На многих заводах на сборочные работы имеются таблицы норм времени на сборку, составленные на основе опытных данных. Анализ таблиц показал, что они построены на основе линейной зависимости трудоемкости от размеров или веса деталей (рис. 149). Пользуясь такими таблицами или графиками, найдя средневзвешенные размеры деталей по спецификациям или чертежам, можно определить коэффициенты a и b в уравнении прямых линий:

$$T_{сб_i} = a\bar{x} + b, \quad (74)$$

где $T_{сб_i}$ — оперативное время; \bar{x} — средневзвешенное значение величины параметра детали, принятого для расчета (длины, диаметра, ширины и пр.).

Примерные расчетные формулы для определения трудоемкости слесарно-сборочных работ в зависимости от средневзвешенной длины

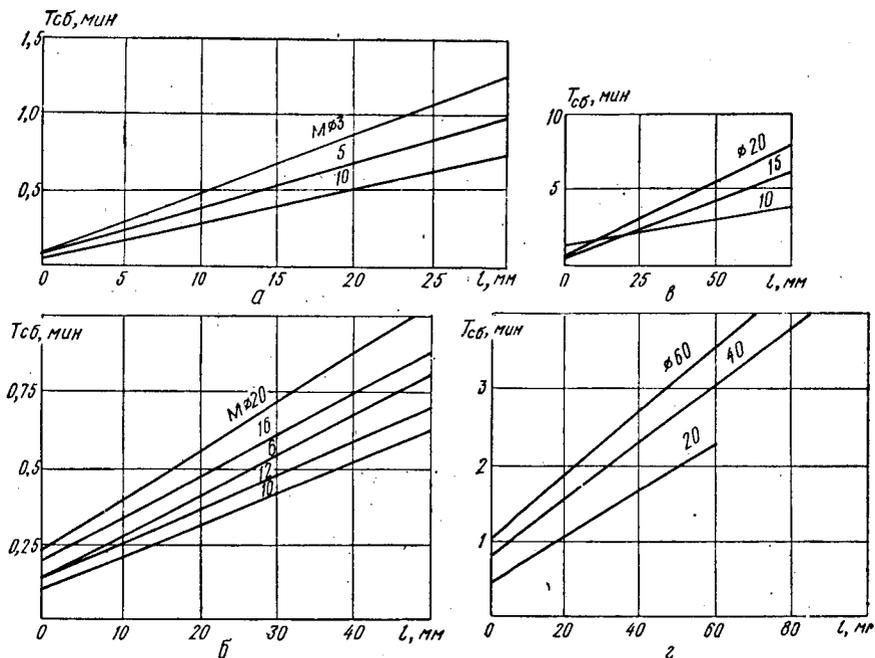


Рис. 149. Графики для определения времени сборочных работ:

a — при завинчивании винтов; *б* — при завинчивании гаек вручную; *в* — при развертывании конических отверстий под штифты; *г* — при ручной запрессовке втулок.

собираемых деталей и количества их n в узле или станке приведены в табл. 65. В этой же таблице для примера указаны трудоемкости сборки коробок скоростей револьверных станков разных конструкций, но аналогичного назначения, подсчитанные по приведенным формулам.

Количество n деталей одного назначения (винтов, болтов, втулок, гаек, шестерен и пр.) подсчитывают по спецификации узлов, количество просверливаемых и нарезаемых при сборке отверстий — по рабочим чертежам.

Вычисленные трудоемкости отдельных работ для узла или машины суммируют:

$$T_{сб} = \sum_1^n T_{сб_i} = T_{сб_1} + T_{сб_2} + \dots + T_{сб_n}. \quad (75)$$

Данные формулы применимы для любых машин (весом от 2 до 4 т). Для машин других весовых категорий необходимо найти другие значения коэффициентов a и b в формуле (74) на основе заводских нормировочных материалов по сборке машин соответствующего веса. В табл. 62 не приведено время, затрачиваемое на мелкие работы, как-то: обдувание деталей сжатым воздухом, постановка шплинтов и т. п., поскольку это время находится в пределах погрешности определения общего времени сборки. Можно принять, что подготовительно-заключительное время равно приблизительно 5 % оперативного времени.

Таблица 62. Формулы для определения трудоемкости сборочных работ

Вид работы	Формулы $T_{сб}$, мин	Трудоемкость сборки коробок скоростей		
		1	2	3
Завертывание винтов	$T_{сб} = (0,03\bar{l} + 0,1) n$	36	91	67
Завертывание болтов, шпилек, штуцеров	$T_{сб} = (0,013\bar{l} + 0,15) n$	6	4	4
Завертывание гаек	$T_{сб} = n$	20	10	28
Запрессовка втулок и заглушек	$T_{сб} = (0,03\bar{l} + 1,2) n$	39	15	29
Постановка шарико- и роликоподшипников	$T_{сб} = (0,03\bar{l} + 1,2) 2n$	55	136	113
Пригонка шпонок к валам	$T_{сб} = (0,57\bar{l} + 5) n$	364	500	206
Установка шестерен, зубчатых секторов и муфт на валы со шпонками	$T_{сб} = n$	27	40	31
Постановка шайб, колец, прокладок	$T_{сб} = 0,5n$	30	63	10
Установка пружин, опорных и пружинных колец	$T_{сб} = 1,5n$	18	18	96
Сверление по месту (электродрелью)	$T_{сб} = 0,7n$	21	16	14
Развертывание конических отверстий и постановка штифтов	$T_{сб} = (0,04\bar{l} + 1,3) 2n$	206	96	28
Нарезание резьбы по месту	$T_{сб} = 2n$	30	20	26
Итого		852	1009	652

Примечание. \bar{l} — средневзвешенная длина (винта, болта, втулки, шпонки, штифта и т. п.); мм; n — количество деталей по спецификации (винтов, болтов, втулок, шестерен, шайб и т. п.), а также количество отдельных элементов конструкции (просверливаемых при сборке отверстий, нарезаемых при сборке отверстий и т. п.).

Время обслуживания рабочего места, отдыха и пр. составляет около 8 % оперативного времени. Всего $1,13 T_{сб}$.

Таким образом, общее время сборки узла и машины с учетом формулы (75) составит:

$$T_{сб} = 1,13 \sum_1^n T_{сб_i} \quad (76)$$

Себестоимость сборки определяют по формуле, руб.,

$$C_{сб} = 1,13 \bar{z}_ч (1 + q) \sum_1^n T_{сб_i} \quad (77)$$

где $\bar{z}_ч$ — средняя часовая заработная плата сборщика, руб.; $q = \frac{H}{100}$ — коэффициент накладных расходов сборочного цеха; H — накладные расходы сборочного цеха, %.

Пример. $\bar{z}_ч = 0,6$ руб./ч; $q = \frac{150}{100} = 1,5$; $\sum_1^n T_{сб_i} = 300$ ч.

Подставив значения этих величин в формулу (77), получим себестоимость сборки

$$C_{сб} = 1,13 \cdot 0,6 (1 + 1,5) \cdot 300 = 508,9 \text{ руб.}$$

§26. ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Современный уровень технологии достигнут на основе непрерывного развития машиностроения после Великой Октябрьской социалистической революции. Новые технологические процессы, приведенные в книге, осуществлялись благодаря непрерывному совершенствованию и освоению нового технологического оборудования, приспособлений и инструмента.

Ограничиваясь кратким перечислением основных достижений технологии машиностроения за последние 5—10 лет, следует отметить следующее.

К началу десятой пятилетки в СССР была создана многоотраслевая машиностроительная промышленность.

Главными направлениями развития в технологии были: повышение качества заготовок, приближение их к форме готовых деталей, уменьшение припусков и напусков для снижения трудоемкости механической обработки, повышение ее производительности и точности, снижение трудоемкости сборки.

В заготовительном производстве изготавливались отливки с применением литейных форм из быстротвердеющих смесей, прессованных под давлением, оболочковых и кокилей. Развивались электрошлаковое литье, машины для изготовления форм и автоматические линии для получения отливок. Все эти средства повысили размерную точность отливок, а также увеличили коэффициент использования металла.

Для увеличения этого коэффициента широко применялись сварные и сварно-литые заготовки вместо литых. Внедрялась сварка трением и контактная.

В обработке давлением создано специализированное оборудование для холодной объемной штамповки заготовок большой массы и размеров и холодного выдавливания заготовок в штампах.

Организовано производство прессованных и спеченных деталей из порошков, требующих небольшой механической обработки.

В связи с повышением качества заготовок увеличился объем чистовой и отделочной обработок лезвийным и абразивным инструментами, внедрялись электрофизические, электрохимические и лучевые методы обработки.

Росту производительности труда способствовали: автоматизация производства, многоинструментальная обработка, форсированные режимы резания с помощью новых инструментальных материалов.

Из новых технологических процессов следует отметить точение термически обработанных поверхностей инструментом, оснащенным сверхтвердыми материалами, скоростное и многокруговое врезное шлифование, скоростное протягивание, шлифование с электрофизической или электрохимической обработкой, отделочную обработку поверхностей путем пластического деформирования — обкатка и раскатка наружных и внутренних поверхностей (посадочных мест), выглаживание алмазным инструментом. Освоено производство лезвийного

инструмента на основе кубического нитрида бора и абразивного инструмента на базе эльбора.

Изменялась структура станочного парка и повышался технический уровень станков. Увеличилось количество автоматизированных специальных, агрегатных, прецизионных, тяжелых и уникальных станков.

Значительно возросло количество станков с ЧПУ, многооперационных, шлифовальных и отделочных.

Внедрены комплексные автоматические линии для массового и крупносерийного производства, станки с использованием электрофизических, электрохимических, ультразвуковых и лучевых методов для обработки изделий из труднообрабатываемых материалов.

Внедрялись автоматические манипуляторы, применение которых позволило в десятой пятилетке условно высвободить 20 тыс. человек. Широко применялись ЭВМ для управления станками, комплексами станков и автоматическими линиями. Увеличилось количество сборочных автоматов и средств механизации сборочных работ.

Общей тенденцией развития современного машиностроения является частая замена действующих машин новыми, более производительными, быстроходными и в ряде случаев более точными. Увеличение быстроходности машин вызывает повышенные требования к их надежности и долговечности. Это связано с применением более прочных и износостойчивых материалов, более широким внедрением термобработки и методов поверхностного упрочнения деталей.

Чтобы повысить экономический эффект от внедрения новых машин, разрабатывать технологию и вести всю подготовку производства, так же как и осваивать новые машины в производстве, следует в более сжатые сроки, чем сейчас.

Время разработки комплексных технологических процессов сократится в результате разработки типовых процессов, вычисления технических норм времени на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) на основе статистических наблюдений в производстве и экспериментальных исследований. ЭВМ будут также широко применяться для нахождения оптимальных режимов резания, для планирования производства и управления ходом производства. Технологию изготовления типичных деталей в дальнейшем будут разрабатывать с использованием ЭВМ.

Получит развитие поточное производство в серийном (как наиболее эффективное), а на основе групповой обработки — в мелкосерийном и частично в единичном производстве.

В потоки серийного производства будут чаще включаться станки с программным управлением и такие операции, как термические, сварочные, прессовые, покрытия, при условии экономической и технической целесообразности. Дальнейшее развитие получит механизация внестаночных операций — транспортных, складских, а также автоматизация контрольных операций.

В единичном производстве, наряду с внедрением скоростной обработки металлов, будет проводиться работа по дальнейшему сокращению вспомогательного времени обработки за счет упрощения управления станками, применения быстросменных инструментов, механи-

зации контроля размеров. В тяжелом машиностроении это достигается также механизацией трудоемких и тяжелых работ по установке и съему обрабатываемых деталей.

В серийном машиностроении вспомогательное время будет сокращаться вследствие концентрации обработки, совмещения вспомогательного времени с основным и автоматизации производства с помощью станков с программным управлением, выпуск которых возрастает. В крупносерийном и массовом производстве будет развиваться автоматизация механической обработки путем дальнейшей разработки переналаживаемых многопозиционных и многшпиндельных автоматов и полуавтоматов, собираемых из унифицированных и стандартизованных узлов, и путем создания автоматических специальных и переналаживаемых линий. Такие линии будут создаваться из новых станков-автоматов, предназначенных для встраивания в автоматические линии, и из действующих модернизированных станков общего назначения, автоматизируемых унифицированными узлами. Получат развитие станки с автоматически сменяемым по определенной программе инструментом (обрабатывающие центры). Для автоматизации сборочных работ будет создан комплекс сборочных машин с унифицированными узлами. Автоматизация сборочных работ будет способствовать развитию автоматизации контрольных работ.

Решениями XXVI съезда КПСС в одиннадцатой пятилетке предусмотрено опережающее развитие машиностроения и металлообработки, освоение серийного производства новых конструкций машин, оборудования, средств механизации.

Намечено развивать производство и обеспечить широкое применение автоматических манипуляторов (роботов), на этой основе создавать роботизированные технологические комплексы (РТК). Они включают технологическое, вспомогательное и контрольное оборудование, а также оснастку и транспортные устройства, необходимые для производства изделий заданной номенклатуры. Из таких комплексов должны формироваться автоматизированные участки, цехи и заводы.

В производствах всех типов большое внимание уделяется безотходной технологии, экономии металла и уменьшению припусков на механическую обработку. В связи с этим развиваются новые способы получения заготовок, например электрошлаковое литье, изготовление деталей из металлических порошков и полимерных материалов.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрено значительное увеличение объема продукции машиностроения и металлообработки. Это требует дальнейшего более интенсивного использования средств производства и непрерывного совершенствования технологии машиностроения*.

Будет повышаться качество и точность изготовления отливок, поковок, штамповок за счет внедрения прогрессивных технологических процессов. В механических цехах будут выполнять преимущественно точную обработку. Увеличится выпуск отливок из высокопрочных чу-

* Материалы XXVI съезда КПСС.— М.: Политиздат. 1981. с. 153—157.

гунов, расширится производство сварных, сварно-литых конструкций и деталей из полимерных конструкционных материалов.

Значение обработки металлов давлением в машиностроении будет возрастать, будут развиваться экономически эффективные процессы формообразования сложных поверхностей пластическим деформированием металлов (накатывание и штампование зубчатых колес, накатывание поверхностей резьб и шлицев на валах, использование профильного проката и пр.).

Будут и далее организовываться специализированные предприятия с массовым производством литья, штамповок, крепежных деталей, шестерен, насосов, гидро-, пневмо- и электроаппаратуры, коробок скоростей, средств автоматизации и т. д., где эффективны новейшие методы крупносерийного и массового производства.

Вследствие увеличения производства машин и оборудования, работающих при высоких давлениях, температурах и в агрессивных средах, будут развиваться методы обработки жаропрочных и нержавеющей сталей, кислотоупорных чугунов, специальных сплавов и металлокерамики. Одним из таких методов является обработка подогретого металла плазменной струей.

Предусматривается увеличение выпуска твердосплавного инструмента при повышении стойкостных качеств его. Проектирование инструментов будет производиться с помощью ЭВМ. Будет развиваться производство инструмента из новых сверхтвердых материалов (эльбор, кубонит, исмит, гексанит и др.). Получение крупных синтетических алмазов позволит расширить область применения алмазной обработки черных и цветных металлов, а также специальных сплавов.

В связи с уменьшением припусков на обработку и приближением формы заготовок к форме готовых изделий будет возрастать значение шлифовальных и отделочных операций.

Дальнейшее развитие получают универсально-сборные приспособления (УСП) и универсально-наладочные приспособления (УНП).

Широко будут внедряться новые электрофизические и электрохимические методы обработки металлов: электрохимическое шлифование и полирование, электрохимическая обработка фасонных отверстий, ультразвуковая, электронимпульсная обработка, обработка по контуру электронным лучом и световым лучом с помощью оптических квантовых генераторов (ОКГ).

Предусмотрено существенно увеличить производство систем машин и оборудования, автоматических манипуляторов с программным управлением, позволяющих исключить применение малоквалифицированного и монотонного труда, особенно в тяжелых и вредных для человека условиях.

Эффективность машиностроительного производства будет повышаться за счет совершенствования его технологии и улучшения организации, будет обеспечиваться глубокая внутриотраслевая и межотраслевая унификация деталей, узлов и технологических процессов.

Расширится специализация машиностроительного производства, большое внимание будет уделяться созданию новых и развитию

действующих специализированных предприятий и крупных цехов, изготавливающих заготовки, детали, узлы и агрегаты отраслевого и межотраслевого назначения.

Намечено улучшить структуру парка металлообрабатывающего оборудования в машиностроении за счет увеличения выпуска высокопроизводительных специальных и агрегатных станков, прогрессивного кузнечно-прессового оборудования, автоматических линий и комплексов.

Будет обеспечиваться первоочередное переоснащение машиностроительных предприятий новым металлообрабатывающим оборудованием.

Серьезное значение придается разработке и осуществлению системы мероприятий по снижению удельной металлоемкости машин и оборудования и существенному сокращению отходов и потерь металлопродукции за счет:

совершенствования конструкций машин и оборудования, широкого применения металла повышенной прочности, фасонных профилей, проката высокой точности, конструкционных пластмасс и изоляционных материалов с высокой температурной стойкостью; замены технологических процессов, основанных на резании металла, экономичными методами формообразования деталей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Обозначения величин в формулах наиболее вероятного машинного времени

- a — коэффициент, учитывающий время обратного (холостого) хода
 B — ширина заготовки, мм
 D, d — диаметры заготовок (отверстий), мм
 $d_{\text{ф}}$ — диаметр фрезы, мм
 F_{Σ} — суммарная площадь обрабатываемой поверхности, мм²
 f — коэффициент, учитывающий число проходов без поперечной подачи
 h — припуск на обработку, мм
 i — количество проходов
 i_1, i_2, i_3 — число проходов — соответственно черновых, получистовых, чистовых
 K — коэффициент, характеризующий наиболее вероятные условия обработки
 l — длина заготовки, ступени, длина хода, протяжки, мм
 $l_{\text{обр}}$ — длина рабочего хода при обработке, мм
 m — модуль зубчатого колеса, мм
 n — число оборотов, число двойных ходов в минуту
 $n_{\text{ш}}$ — число оборотов шевера в минуту
 p — число проходов без поперечной подачи
 S — продольная подача, мм/об; при строгании мм/дв. ход
 S_1, S_2, S_3 — подачи при черновом, получистовом и чистовом шлифовании, мм/дв. ход
 S_z — подача на зуб фрезы, мм
 $S_{\text{м}}$ — минутная подача, мм/мин
 $S_{\text{тан}}$ — тангенциальная подача, мм/об. заг
 $S_{\text{р}}$ — радиальная подача мм/дв. ход
 $S_{\text{м.о.х}}$ — минутная подача обратного хода, мм/мин
 $S_{\text{кр}}$ — круговая подача, мм/дв. ход
 $T_{\text{м}}$ — наиболее вероятное машинное время обработки, мин
 t — поперечная подача (глубина резания, мм/проход)
 τ — время обработки одного зуба, мин
 τ_1 — время на переключение и деление, мин
 τ_2 — время на поворот заготовки на один зуб, мин
 v — скорость резания, м/мин
 v_3 — окружная скорость вращения заготовки, м/мин
 $v_{\text{ст}}$ — скорость перемещения стола, м/мин
 $v_{\text{р.х}}$ — скорость рабочего хода, м/мин
 w — число одновременно обрабатываемых заготовок
 z — число зубьев зубчатого колеса, шлицевого вала, звездочки
 $z_{\text{ф}}$ — число зубьев фрезы
 $z_{\text{ш}}$ — число зубьев шевера
 $d_{\text{в.к}}$ — диаметр ведущего круга
 $n_{\text{в.к}}$ — число оборотов в минуту ведущего круга
 $S_{\text{в}}$ — вертикальная подача

Формулы наиболее вероятного машинного времени обработки отдельных поверхностей по переходам

■ Переход	Квалитет Шероховатость, мкм	Теоретическая формула машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величины	Расчетная формула наиболее вероятного машинного времени
Разрезание дисковой пилой	— * 80—40	$T_M = \frac{l}{S_M} + \frac{l}{S_{M.O.X}}$	$K = \frac{1}{S_M} + \frac{1}{S_{M.O.X}}$ $K_1 = \frac{1}{S_M};$ $K_2 = \frac{1}{S_{M.O.X}}$	$S_M = 91,7 \text{ мм/мин}$ $S_{M.O.X} = 5000 \text{ мм/мин}$ $K_1 = 0,0109$ $K_2 = 0,0002$	$T_M = 0,0111$
	— 90—20	$T_M = \frac{l}{S}$	$K = \frac{1}{S}$	$S = 11,4 \text{ мм/мин}$ $K = 0,0877$	$T_M = 0,0877l$
	— 40—10	$T_M = \frac{\pi D^2}{2000vS}$	$K = \frac{\pi}{2000vS}$	$S = 0,1 \text{ мм/об}$ $v = 40 \text{ м/мин}$ $K = 0,000393$	$T_M = 0,000393D^2$
<i>Подрезание торца (за один проход)</i>					
Черновое подрезание торца (кольца)	— 40—20	$T_M = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4000vS}$	$K = \frac{\pi}{4000vS}$	$v = 70 \text{ м/мин}$ $S = 0,5 \text{ мм/об}$ $K = 0,0000224$	$T_M = 0,0000224 \times (D^2 - d^2)$
	— 2,5—2,0	$T_M = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4000vS}$	$K = \frac{\pi}{4000vS}$	$v = 174,6 \text{ м/мин}$ $S = 0,41 \text{ мм/об}$ $K = 0,000011$	$T_M = 0,000011 \times (D^2 - d^2)$

Черновое подрезание (сплошного круга)	— 40—20	$T_M = \frac{\pi D^2}{4000vS}$	$K = \frac{\pi}{4000vS}$	$v = 70$ м/мин $S = 0,05$ мм/об $K = 0,0000224D^2$	$T_M =$ $= 0,0000224D^2$
Чистовое подрезание (сплошного круга)	— 2,5—2,0	$T_M = \frac{\pi D^2}{4000vS}$	$K = \frac{\pi}{4000vS}$	$v = 174,6$ м/мин $S = 0,41$ мм/об $K = 0,000011D^2$	$T_M =$ $= 0,000011D^2$
Обработка тел вращения					
<i>Обтачивание тел вращения. (D = 20 ÷ 100 мм — одной ступени за один проход)</i>					
Обтачивание черновое	14 80—40	$T_M = \frac{\pi D l}{1000vS}$	$K = \frac{\pi}{1000vS}$	$v = 105$ м/мин $S = 0,4$ мм/об $K = 0,000075Dl$	$T_M =$ $= 0,000075Dl$
Обтачивание чистовое	11 20—10	$T_M = \frac{\pi D l}{1000vS}$	$K = \frac{\pi}{1000vS}$	$v = 120$ м/мин $S = 0,15$ мм/об $K = 0,000175Dl$	$T_M =$ $= 0,000175Dl$
<i>Шлифование наружное круглое с продольной подачей</i>					
Шлифование предварительное	11—9 20—2,5	$T_M = \frac{\pi D h t}{1000vSf}$	$K = \frac{\pi h t}{1000vSf}$	$h = 0,25$ мм $v = 24$ м/мин $t = 0,024$ мм/дв.ход $S = 14$ мм/об $f = 1,2$ $K = 0,00012$	$T_M =$ $= 0,00012Dl$
Шлифование чистовое	6 1,25—0,63	$T_M = \frac{\pi D h t}{1000vSf}$	$K = \frac{\pi h t}{1000vSf}$	$h = 0,1$ мм $v = 30$ м/мин $t = 0,008$ мм/дв.ход $S = 10$ мм/об $f = 1,4$ $K = 0,000184$	$T_M =$ $= 0,000184Dl$

* Шероховатость поверхности от 320 до 10 мкм и от 0,100 до 0,025 мкм соответствует параметру R_z от 2,5 до 0,020 мкм — параметру R_a по ГОСТ 2789—73.

Переход	Квалитет		Теоретическая формула для машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величин	Расчетная формула для наиболее вероятного машинного времени
	Шероховатость, мкм	Шероховатость, мкм				
Шлифование тонкое	$\frac{6}{0,32-0,16}$	$\frac{6}{0,32-0,16}$	$T_M = \frac{\pi D l h}{1000 v_s f}$	$K = \frac{\pi h}{1000 v_s f}$	$h = 0,025$ мм $v = 20$ м/мин $t = 0,003$ мм/дв.ход $S = 8$ мм/об $f = 2,0$ $K = 0,000397$	$T_M = 0,000327 D l$
<i>Шлифование наружное бесцентровое с продольной подачей (D = 20 ÷ 60 мм)</i>						
Шлифование предварительное	$\frac{8}{2,5-1,25}$	$\frac{8}{2,5-1,25}$	$T_M = \frac{l}{S_M} ia$	$K = \frac{ia}{S_M}$	$S_M = 1070$ мм/мин $a = 1,5$ $t = 3$	$T_M = 0,00422 l$
			$S_M = \pi a_{вк} l_{вк} \sin \alpha$		$K = 0,00422$	
Шлифование чистовое	$\frac{6}{0,63-0,32}$	$\frac{6}{0,63-0,32}$	$T_M = \frac{l}{S_M} ia$	$K = \frac{ia}{S_M}$	$S_M = 866$ мм/мин $a = 1,5$ $t = 4$	$T_M = 0,00693 l$
					$K = 0,00693$	
<i>Шлифование наружное круглое врезанием</i>						
Шлифование грубое	$\frac{9-11}{20-2,5}$	$\frac{9-11}{20-2,5}$	$T_M = \frac{\pi D h}{1000 v_s f}$	$K = \frac{\pi h f}{1000 v_s f}$	$v_s = 19$ м/мин $h = 0,35$ мм $t = 0,02$ мм/об $f = 1,25$	$T_M = 0,00362 D h$
					$K = 0,00362$	

Шлифование чистовое	$\frac{6}{1,25-0,63}$	$T_M = \frac{\pi D h}{1000 v_3 f}$	$K = \frac{\pi h f}{1000 v_3 f}$	$v_3 = 35 \text{ м/мин}$ $h = 0,15 \text{ мм}$ $f = 0,0025 \text{ мм/об}$ $f = 1,25$ $K = 0,0068$	$T_M = 0,0068D$
Шлифование тонкое	$\frac{5}{0,32-0,16}$	$T_M = \frac{\pi D h}{1000 v_3 f}$	$K = \frac{\pi h f}{1000 v_3 f}$	$v_3 = 35 \text{ м/мин}$ $h = 0,1 \text{ мм}$ $f = 0,0017 \text{ мм/об}$ $f = 1,5$ $K = 0,0079$	$T_M = 0,0079D$
<i>Обработка упрочняющим инструментом</i>					
Обкатка роликом или шариком после чистового точения	$\frac{8}{1,25-0,32}$	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 100 \text{ м/мин}$ $S = 0,3 \text{ мм/об}$ $K = 0,0001$	$T_M = 0,0001Dl$
<i>Обработка отверстий</i>					
Сверление отверстий диаметром до 20 мм	$\frac{14}{40-10}$	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 22,4 \text{ м/мин}$ $S = 0,25 \text{ мм/об}$ $K = 0,00056$	$T_M = 0,00056Dl$
Расверливание отверстий диаметром 20—70 мм	$\frac{13}{20-10}$	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 29,7 \text{ м/мин}$ $S = 0,25 \text{ мм/об}$ $K = 0,000423$	$T_M = 0,000423Dl$
Зенкерование	$\frac{11}{20-10}$	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 15 \text{ м/мин}$ $S = 1 \text{ мм/об}$ $K = 0,00021$	$T_M = 0,00021Dl$
Развертывание черновое	$\frac{10}{2,5-2,0}$	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 12 \text{ м/мин}$ $S = 0,6 \text{ мм/об}$ $K = 0,000436$	$T_M = 0,000436Dl$

Переход	Квалитет	Теоретическая формула машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величин	Расчетная формула наиболее вероятного машинного времени
	Шероховатость, мкм				
Развертывание чистовое	6	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 6 \text{ м/мин}$ $S = 0,6 \text{ мм/об}$ $K = 0,000876$	$T_M = 0,000876 D l$
	12	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 63,4 \text{ м/мин}$ $S = 0,36 \text{ мм/об}$ $K = 0,000134$	$T_M = 0,000134 D l$
	10	$T_M = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 50 \text{ м/мин}$ $S = 0,35 \text{ мм/об}$ $K = 0,00018$	$T_M = 0,00018 D l$

Шлифование внутреннее

Шлифование предварительное	11	$T_M = \frac{2\pi D l h}{1000 v S f}$	$K = \frac{2\pi h f}{1000 v S f}$	$v = 27 \text{ м/мин}$ $f = 0,004 \text{ мм/дв.ход}$ $S = 12 \text{ мм/об}$ $h = 0,2 \text{ мм}$ $f = 1,4$ $K = 0,000146$	$T_M = 0,000146 D l$
	7	$T_M = \frac{2\pi D l h}{1000 v S f}$	$K = \frac{2\pi h f}{1000 v S f}$	$v = 36 \text{ м/мин}$ $f = 0,009 \text{ мм/дв.ход}$ $S = 10 \text{ мм/об}$ $h = 0,2 \text{ мм}$ $f = 1,5$ $K = 0,000583$	$T_M = 0,000583 D l$

Шлифование чистовое

Протягивание внутренних поверхностей

Протягивание рядовое	9	$T_M = \frac{la}{1000v}$	$K = \frac{a}{1000v}$	$v = 7 \text{ м/мин}$ $a = 2$ $K = 0,000286$	$T_M = 0,000286l$
	10—2,5				
Протягивание чистовое	7	$T_M = \frac{la}{1000v}$	$K = \frac{a}{1000v}$	$v = 4 \text{ м/мин}$ $a = 2$ $K = 0,0005l$	$T_M = 0,0005l$
	1,25—1,0				
Протягивание уплотняющими протяжками многозубыми (типа дорнов)	6	$T_M = \frac{la}{1000v}$	$K = \frac{a}{1000v}$	$K = 0,0005$ $v = 5 \text{ м/мин}$ $a = 2$ $K = 0,0004l$	$T_M = 0,0004l$
	0,63—0,32				
Прошивание чистовое	7	$T_M = \frac{l}{1000v}$	$K = \frac{l}{1000v}$	$v = 3 \text{ м/мин}$ $K = 0,00033$	$T_M = -0,00033l$
	1,25—0,63				
Прошивание тонкое	6—7	$T_M = \frac{l}{1000v}$	$K = \frac{l}{1000v}$	$v = 2 \text{ м/мин}$ $K = 0,0005$	$T_M = 0,0005l$
	0,63—0,16				

Обработка внутренних поверхностей отделочная

Калибрование после растачивания (дорном и т. п.)	8	$T_M = \frac{l}{S_M}$	$K = \frac{1}{S_M}$	$S_M = 2000 \text{ мм/мин}$ $K = 0,0005$ $T_M = 0,0005l$
	1,25—0,63			
Полирование	5—6	$T_M = KF_{\Sigma}^*$	Доводочные работы	$K = 0,00016$ $T_M = 0,00016F_{\Sigma}$
	1,25—0,1			
Хонингование среднее	6—7	$T_M = Kh^{**}$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,126$ $T_M = 0,126h$
	1,25—0,63			
Хонингование тонкое	5—6	$T_M = Kh^{**}$		$K = 0,121$ $T_M = 0,121h$
	0,32—0,16			
Суперфиниширование	6	$T_M = KD$		$K = 0,0238$ $T_M = 0,0238D$
	0,40—0,16			
Суперфиниширование двукратное	5	$T_M = KD$		$K = 0,051$ $T_M = 0,051D$
	0,16—0,03			

* $F_{\Sigma} = \pi dl$

** h — припуск на сторону, мм

Переход	Квалитет		Теоретическая формула машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величин	Расчетная формула наиболее вероятного машинного времени
	Шероховатость, мкм	Квалитет				
Механическая притирка деталей из закаленной стали	6	6	$T_m = K F \Sigma$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,00024$ $K = 0,000225$	$T_m = 0,00024 F \Sigma$ $T_m = 0,000225 F \Sigma$
	0,32—0,16	5	$T_m = K F \Sigma$			
Механическая притирка деталей из закаленной стали	0,16—0,04	5	$T_m = K F \Sigma$			

Обработка плоских поверхностей

Фрезерование торцевой фрезой

Фрезерование черновое	$\frac{12}{40-20}$	$T_m = \frac{l}{S_m}$	$K = \frac{1}{S_m}$	$S_m = 170 \text{ мм/мин}$ $K = 0,0059$	$T_m = 0,00059l$
	$\frac{10}{20-10}$	$T_m = \frac{l}{S_m}$	$K = \frac{1}{S_m}$	$S_m = 208 \text{ мм/мин}$ $K = 0,00482$	$T_m = 0,00482l$
	$\frac{8}{2,5-1,25}$	$T_m = \frac{l}{S_m}$	$K = \frac{1}{S_m}$	$S_m = 351 \text{ мм/мин}$ $K = 0,00286$	$T_m = 0,00286l$

Фрезерование цилиндрической фрезой

Фрезерование черновое	$\frac{12}{40-20}$	$T_m = \frac{l}{S_m}$	$K = \frac{1}{S_m}$	$S_m = 150 \text{ мм/мин}$ $K = 0,00666l$	$T_m = 0,00666l$
	$\frac{10}{20-10}$	$T_m = \frac{l}{S_m}$	$K = \frac{1}{S_m}$	$S_m = 285 \text{ мм/мин}$ $K = 0,00352$	$T_m = 0,00352l$
	$\frac{8}{2,5-1,25}$	$T_m = \frac{l}{S_m}$	$K = \frac{1}{S_m}$	$S_m = 600 \text{ мм/мин}$ $K = 0,00166$	$T_m = 0,00166l$
Фрезерование чистовое	$\frac{11}{10-2,5}$	$T_m = \frac{\pi D l}{1000 v S}$	$K = \frac{\pi}{1000 v S}$	$v = 15 \text{ м/мин}$ $S_m = 0,3 \text{ мм/об}$ $K = 0,0007$	$T_m = 0,0007 D l$

Подрезание бобышек торцевым зенкером или ножом

Строгание или долбление

Строгание черновое	$\frac{14}{80-40}$	$T_M = \frac{Bla}{1000v_{p,x}S}$	$K = \frac{a}{1000v_{p,x}S}$	$a = 1,43$ $S = 1,5 \text{ мм/дв.ход}$ $v_{p,x} = 22 \text{ м/мин}$ $K = 0,0000434$	$T_M = 0,0000434Bl$
Строгание чистовое	$\frac{11}{10-1,5}$	$T_M = \frac{Bla}{1000v_{p,x}S}$	$K = \frac{a}{1000v_{p,x}S}$	$a = 1,43$ $S = 16 \text{ мм/дв.ход}$ $v_{p,x} = 26 \text{ м/мин}$ $K = 0,0000034$	$T_M = 0,0000034Bl$

Шлифование плоское торцом круга (стал с возвратно-поступательным движением)

Шлифование предварительное	$\frac{9-11}{10-2,5}$	$T_M = \frac{hf}{1000v_{сг}}$	$K = \frac{hf}{1000v_{сг}}$	$v_{сг} = 12 \text{ м/мин}$ $h = 0,3 \text{ мм}$ $t = 0,02 \text{ мм/дв.ход}$ $f = 1,2$ $K = 0,0015$	$T_M = 0,0015l$
Шлифование чистовое	$\frac{7}{1,25-0,63}$	$T_M = \frac{hf}{1000v_{сг}}$	$K = \frac{hf}{1000v_{сг}}$	$v_{сг} = 12 \text{ м/мин}$ $h = 0,1 \text{ мм}$ $t = 0,009 \text{ мм/дв.ход}$ $K = 0,0013$ $f = 1,4$	$T_M = 0,0013l$
Шлифование тонкое	$\frac{6}{0,32-0,16}$	$T_M = \frac{hf}{1000v_{сг}}$	$K = \frac{hf}{1000v_{сг}}$	$v_{сг} = 8 \text{ м/мин}$ $h = 0,04 \text{ мм}$ $t = 0,005 \text{ мм/дв.ход}$ $K = 0,0015$ $f = 1,5$	$T_M = 0,0015l$

* $F_{\Sigma} = ldl$

Переход	Качество		Геометрическая формула машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величин	Расчетная формула вероятного машинного времени
	Шероховатость, мкм	Шероховатость, мкм				
Протягивание рядовое	9 10—2,5		$T_M = \frac{la}{1000v}$	$K = \frac{a}{1000v}$	$v = 7 \text{ м/мин}$ $a = 2$	$T_M = 0,000286l$
	7 1,25—0,63		$T_M = \frac{la}{1000v}$	$K = \frac{a}{1000v}$	$v = 4 \text{ м/мин}$ $a = 2$ $K = 0,0005$	$T_M = 0,0005l$
Протягивание чистовое	— 1,25—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,00016$	$T_M = 0,00016F_{\Sigma}$
	— 0,32—0,16		$T_M = KF_{\Sigma}$			$T_M = 0,00024F_{\Sigma}$
— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$			
<i>Доводка плоских поверхностей</i>						
Полирование $B \times l = F_{\Sigma}; B \times l$ от 30×30 до 200×200	— 1,25—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,00016$	$T_M = 0,00016F_{\Sigma}$
	— 0,32—0,16		$T_M = KF_{\Sigma}$			$T_M = 0,00024F_{\Sigma}$
— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$			
Механическая притирка деталей из незакаленной стали	— 0,32—0,16		$T_M = KF_{\Sigma}$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,00024$	$T_M = 0,00024F_{\Sigma}$
	— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$			$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$
— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$			
Механическая притирка деталей из закаленной стали	— 0,32—0,16		$T_M = KF_{\Sigma}$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,00024$	$T_M = 0,00024F_{\Sigma}$
	— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$			$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$
— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$			
<i>Обработка винтовых поверхностей</i>						
Нарезание резьбы метчиком, плашкой и винторезной нераскрывающейся головкой на станке	10 10—2,5		$T_M = \frac{\pi D l a}{1000vS}$	$K = \frac{\pi a}{1000vS}$	$v = 9,1 \text{ м/мин}$ $S = 2,0 \text{ мм}$ $a = 1,85$ $K = 0,000319$	$T_M = 0,000319Dl$
	9 10—2,5		$T_M = \frac{\pi D l a}{1000vS}$	$K = \frac{\pi}{1000vS}$	$v = 14 \text{ м/мин}$ $S = 2,0 \text{ мм}$ $K = 0,000112$	$T_M = 0,000112Dl$
Нарезание резьбы самораскрывающейся резьбарезной головкой	— 1,25—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	Значения режимов обработки взяты по нормативным материалам	$K = 0,00016$	$T_M = 0,00016F_{\Sigma}$
	— 0,32—0,16		$T_M = KF_{\Sigma}$			$T_M = 0,00024F_{\Sigma}$
— 0,16—0,04		$T_M = KF_{\Sigma}$	$T_M = 0,000225F_{\Sigma}$			

Фрезерование резьб. многониточной фрезой (наружные резьбы)	$\frac{10}{10-2,5}$	$T_M = \frac{1,2\pi^2 d_{\text{ф}}}{1000vS_2 z_{\text{ф}}}$	$K = \frac{1,2\pi^2 d_{\text{ф}}}{1000vS_2 z_{\text{ф}}}$	$d_{\text{ф}} = 65 \text{ мм}$ $S_2 = 0,05 \text{ мм/зуб}$ $v = 33,3 \text{ м/мин}$ $z_{\text{ф}} = 14$ $K = 0,033$ $K = 0,0032$	$T_M = 0,033D$
Накатывание резьб роликами и плашкой	$\frac{9}{2,5-1,0}$	$T_M = KD$	$K = 0,032$	$v = 40 \text{ м/мин}$ $a = 1,85$ $i = 1,9S$	$T_M = 0,0032D$
Нарезание резьбы резцом черновое (резьба однозаходная)	$\frac{10}{20-10}$	$T_M = \frac{\pi D l i a}{1000vS}$	$K = \frac{\pi i a}{1000vS}$	$K = 0,000278$ $v = 76,8 \text{ м/мин}$ $a = 1,85$ $i = 1,2S$	$T_M = 0,000278D$
Нарезание резьбы резцом чистовое (резьба однозаходная)	$\frac{8-9}{10-2,5}$	$T_M = \frac{\pi D l i a}{1000vS}$	$K = \frac{\pi i a}{1000vS}$	$K = 0,000091$ $h = 0,85 \text{ мм}$ $v = 7,5 \text{ м/мин}$ $p = 3$ $t = 0,05 \text{ мм/дв.ход}$ $a = 1,1$ $S = 2 \text{ мм}$ $K = 0,0046$	$T_M = 0,000091D$
Шлифование резьбы чистовое (резьба однозаходная)	$\frac{6}{0,63-0,32}$	$T_M = \frac{\pi D l}{1000vS} \times \left(\frac{h}{t} + p \right) a$	$K = \frac{\pi a}{1000vS} \times \left(\frac{h}{t} + p \right)$		$T_M = 0,0046D$

Обработка эвольвентных поверхностей

Обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес ($m = t \div 10 \text{ мм}$)	$\frac{10-2,5}{10-2,5}$	$T_M = \frac{Bm^{***}}{2,2} \times \left(\frac{2,2}{1000vS_p} + \frac{2\pi}{1000vS_{к,р}} \right) + z \frac{2\pi}{1000vS_{к,р}}$	$K_1 = \frac{2,2}{1000vS_p}$ $K_2 = \frac{2\pi}{1000vS_{к,р}}$	$v = 21 \text{ м/мин}$ $S_p = 0,6 \text{ мм/дв.ход}$ $S_{к,р} = 0,42 \text{ мм/дв.ход}$ $K_1 = 0,0035$ $K_2 = 0,000713$	$T_M = Bm \times \left(0,0035 + z \cdot 0,000713 \right)$
---	-------------------------	---	---	---	--

Переход	Степень точности		Геометрическая формула машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величин	Расчетная формула наиболее вероятного машинного времени
	Шероховатость, мкм					
Долбление зубьев чистовое	$\frac{8\text{-я, 7-я}}{2,5-1,25}$		$T_M = Bm \left(\frac{4,4}{1000vS_p} + \frac{2\pi}{1000vS_{к.р}} \right)$	$K_1 = \frac{4,4}{1000vS_p}$ $K_2 = \frac{2\pi}{1000vS_{к.р}}$	$v = 34$ м/мин $S_p = 0,04$ мм/дв.ход $S_{к.р} = 0,22$ мм/дв.ход $K_1 = 0,00324$ $K_2 = 0,00084$	$T_M = Bm \times (0,00324 + z \cdot 0,00084)$
			$\frac{6\text{-я}}{20-10}$	$T_M = \frac{Bz\pi d\phi}{1000vSg}$ g — число заходов фрез	$K = \frac{\pi d\phi}{1000vSg}$	$d\phi = 70$ мм $S = 1,8$ мм/об.заг. $v = 25$ м/мин; $g = 1$ $K = 0,00488$	$T_M = 0,00488Bz$
Фрезерование черновое (вертикальная подача)	$\frac{8\text{-я}}{2,5-1,25}$		$T_M = \frac{Bz\pi d\phi}{1000vSg}$	$K = \frac{\pi d\phi}{1000vSg}$	$d\phi = 90$ мм $S = 1$ мм/об.заг $v = 30$ м/мин $g = 1$	$T_M = 0,00943Bz$
			$\frac{7\text{-я}}{1,25-1,63}$	$T_M = \frac{Bz\pi f}{S n_{ш} z_{ш} S_B}$	$K = \frac{f}{S n_{ш} z_{ш} S_B}$	$K = 0,00943$ $h = 0,17$ мм $n_{ш} = 280$ об/мин $f = 1,35$ $z_{ш} = 73$	$T_M = 0,001Bz$
Шевингование чистовое					$S_B = 0,0045$ мм/х.ст. $S = 0,25$ мм/об.заг. $K = 0,001$	

Обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес ($m = 1 \div 10$ мм)

Шлифование коническим кругом по методу обкатки (типа Найльс)

6-я 0,63—0,32	$T_M = \left[\frac{2l}{n} \left(\frac{i_1}{S_1} + \frac{i_2}{S_2} + \frac{i_3}{S_3} \right) + 2\tau_1(i_1 + i_2 + i_3) \right] z$	$K_1 = \frac{2}{n} \left(\frac{i_1}{S_1} + \frac{i_2}{S_2} + \frac{i_3}{S_3} \right)$ $K_2 = 2\tau_1(i_1 + i_2 + i_3)$	$n = 150$ ДВ.ХОД/МИН $\tau_1 = 0,05; i_1 = 2$ $S_1 = 2,7$ ММ/ДВ.ХОД $S_2 = 2,7$ ММ/ДВ.ХОД $i_2 = 1; i_3 = 1$ $S_3 = 1,1$ ММ/ДВ.ХОД $K_1 = 0,027$ $K_2 = 0,4$	$T_M = 10,027l + 0,41z$
------------------	---	--	---	-------------------------

Обработка торцов зубьев пальцевой фрезой

20—10	$T_M = \tau z$	$K = \tau$	$K = 0,0384$	$T_M = 0,0384z$
-------	----------------	------------	--------------	-----------------

Фрезерование зубьев червячных колес ($m = 1 \div 6$ мм)

40—20	$T_M = \frac{2,7\pi D d_\phi}{1000 v_\phi S_p}$	$K = \frac{2,7\pi d_\phi}{1000 v_\phi S_p}$	$d_\phi = 80$ ММ $v_\phi = 25$ М/МИН $S_p = 0,8$ ММ/ОБ $K = 0,0346$	$T_M = 0,0346D$
8-я—7-я 1,25—0,63	$T_M = \frac{2,94\pi \sqrt{z} d_\phi}{1000 v_\phi S_{тан}}$	$K = \frac{2,94\pi d_\phi}{1000 v_\phi S_{тан}}$	$d_\phi = 80$ ММ $v_\phi = 25$ М/МИН $S_{тан} = 1,4$ ММ/ОБ $K = 0,0212$	$T_M = 0,0212\sqrt{z}$

Зубостроение прямозубых конических колес ($m = 1 \div 10$ мм)

20—10	$T_M = \frac{\pi D_\phi l}{S_z z 1000 v} + \tau z$	$K_1 = \frac{\pi D_\phi}{S_z z \cdot 1000 v}$ $K_2 = \tau z$	$D_\phi = 80$ ММ $v = 29$ М/МИН $z = 10$ $S_z = 0,13$ ММ/ЗУБ $\tau z = 0,05$ МИН $K_1 = 0,00668$ $K_2 = 0,05$	$T_M = zX \times (0,00668 + 0,05)$
-------	--	---	---	------------------------------------

Предварительное нарезание

Переход	Степень точности шероховатость, мкм	Теоретическая формула машинного времени	Величина коэффициента K	Наиболее вероятные значения величин	Расчетная формула наиболее вероятного времени
Зубострогание чистовое	$\frac{8\text{-я}}{2,5-1,25}$	$T_M = \tau z$	$K = \tau$	$K = 0,2$	$T_M = 0,2z$
Зубострогание тонкое	$\frac{7\text{-я}}{1,25-0,63}$	$T_M = \tau z$	$K = \tau$	$K = 0,25$	$T_M = 0,25z$
Черновое нарезание	$\frac{9\text{-я}}{20-10}$	$T_M = \tau z$	$K = \tau$	$K = 0,36$	$T_M = 0,36z$
Чистовое нарезание	$\frac{8\text{-я}}{2,5-1,25}$	$T_M = \tau z$	$K = \tau$	$K = 0,32$	$T_M = 0,32z$
<i>Нарезание криволинейных конических колес зуборезными головками ($m = 1 \div 10$ мм)</i>					
Фрезерование черновое	$\frac{20-10}{2,5-1,25}$	$T_M = \frac{\pi D_\phi l z}{1000 v_\phi S_0}$	$K = \frac{\pi D_\phi}{1000 v_\phi S_0}$	$D_\phi = 100$ мм $S_0 = 2,1$ мм/об $v_\phi = 32$ м/мин $K = 0,0047$	$T_M = 0,0047 l z$
Фрезерование чистовое	$\frac{2,5-1,25}{0,63-0,32}$	$T_M = \frac{\pi D_\phi l z}{1000 v_\phi S_0}$	$K = \frac{\pi D_\phi}{1000 v_\phi S_0}$	$D_\phi = 100$ мм $S_0 = 1,2$ мм/об $v_\phi = 30$ м/мин $K = 0,0087$	$T_M = 0,0087 l z$
Шлифование дна впадин шлицев (центрирование по внутреннему диаметру)	$\frac{S_0}{0,63-0,32}$	$T_M = \frac{l z h}{1000 v a}$	$K = \frac{h a}{1000 v a}$	$h = 0,15$ мм $v = 6,5$ м/мин $l = 0,03$ мм/дв.ход $a = 1,35$ $v = 6,5$ м/мин	$T_M = 0,00104 l z$

Значение коэффициента Ψ_K в формуле $T_K = \Psi_K T_M$

Станки	Ψ_K для производства	
	единичного и серийного	крупносерийного
Токарные	2,14	1,36
Токарно-револьверные	1,98	1,35
Токарно-многорезцовые	—	1,50
Вертикально-сверлильные	1,72	1,30
Радиально-сверлильные	1,75	1,41
Расточные	3,25	—
Круглошлифовальные	2,10	1,55
Строгальные	1,73	—
Фрезерные	1,84	1,51
Зуборезные	1,66	1,27
Плоскошлифовальные	2,0	1,80

Коэффициент для учета величины врезания и перебега инструментов

Переход	Глубина резания, мм	Коэффициент при длине обработки по чертежу, мм					
		30	60	100	150	200	
Обточка и расточка резцом с углом $\varphi = 45^\circ$	1	1,07	1,04	1,02	1,013	1,01	Коэффициенты < 1,05 при расчете не учитываются
	3	1,17	1,08	1,05	1,03	1,02	
	5	1,23	1,12	1,07	1,04	1,03	
	10	1,43	1,22	1,13	1,08	1,07	
Подрезание торца и отрезание детали	При пути подрезания по чертежу, мм						
	20	40	60	100	150	200	
	1,20	1,10	1,07	1,04	1,03	1,02	
Строгание на поперечно-строгальных станках	При длине строгания по чертежу, мм						
	до 100	100—200	200—300	300—450			
	1,4	1,33	1,24	1,17			
Строгание на продольно-строгальных станках	Для всех длин						
	1,1						
Сверление на сверлильных, токарных и револьверных станках	Для всех размеров при						
	глухих отверстиях			сквозных отверстиях			
	1,5			1,4			

Переход	Коэффициент при длине обработки по чертежу, мм						
	30	60	100	150	200		
Зенкерование	при $d < 50$ мм			при $d > 50 \div 100$ мм			
	1,22			1,12			
Развертывание цилиндрическими развертками	$d < 10$ мм	при $d > 10-50$ мм		при $d > 50-100$ мм			
	1,5	1,27		1,12			
Фрезерование цилиндрической фрезой	Диаметр фрезы, мм	при длине фрезерования по чертежу, мм					
		100	200	400	600		
		50	1,14	1,07	1,03	—	
		100	1,20	1,10	1,05	1,03	
150	1,25	1,12	1,06	1,04			
Фрезерование торцевой фрезой	100	1,23	1,12	1,06	1,04	Припуск 3 мм	
	150	1,35	1,17	1,09	1,06		
	200	1,45	1,23	1,12	1,06		
	300	1,65	1,33	1,17	1,11		
Фрезерование червячной фрезой	D	1,15 D			D — наружный диаметр шестерни		

Приложение 5

Акт испытания станка

Наименование	Мо-дель	Заводской номер	Класс точности	ГОСТ	Примечание
Токарный многошпиндельный автомат			Н	43—65	Н — нормальная точность

I. Проверка точности станка

Элементы проверки	Допускаемое отклонение, мкм	Фактическое отклонение на шпинделе, мкм					
		1	2	3	4	5	6
Осевое биение шпинделя	16						
Радиальное биение отверстия под цангу	16						
Параллельность перемещения продольного суппорта оси шпинделя	12						
Постоянство положений торцов шпинделей при индексации блока	50						
Радиальное биение отверстий инструментальных шпинделей	20						

Элементы проверки	Допускаемое отклонение, мкм	Фактическое отклонение на шпинделе, мкм					
		1	2	3	4	5	6
Совпадение осей инструментальных шпинделей с осью каждого шпинделя изделия	40	1/II 1/III 1/IV	2/II 2/III 2/IV	3/II* 3/IV 3/IV	...	...	...
Точность установки шпинделей в рабочем положении	15	...	...	...	и т. д.	...	...
Перпендикулярность перемещения поперечных суппортов оси шпинделя на длине 50 мм	12	1/I 1/II	2/I 2/II	3/I* 3/II	...	...	...
Точность останова продольного суппорта на упоре	40	1/VI	2/VI	3/VI	...	...	...
Точность останова поперечного суппорта на упоре	30	I	II	III	IV	V	VI

II. Проверка станка в работе

Проверяется точность обработанных деталей образцов	Допускаемое отклонение, мкм	Фактическое отклонение, мкм		Примечание
		I партия	II партия	
Постоянство диаметра в поперечном сечении	20	×	×	Изготавливается две партии деталей не меньше 5 шт. на каждом шпинделе Отмечены заполняемые клетки
Постоянство диаметра в продольном сечении	30	×	—	
Постоянство диаметра в партии деталей-образцов	120	×	×	
Постоянство длины в партии деталей-образцов	120	×	—	
Постоянство длины в партии деталей-образцов с неподрезанным торцом	500	—	×	

III. Проверка жесткости станка

Элементы проверки	При диаметре прутка 40 мм и силе 100 кгс	Фактическое отклонение, мм					
		1	2	3	4	5	6
Наибольшая разность относительных перемещений оправки и суппорта	0,05						
Относительное перемещение каждого суппорта и оправки, установленной в шпинделе наименьшей жесткости	0,10	I	II	III	IV	V	VI

IV. Заключение

1. Станок отвечает всем требованиям ГОСТ 43—73 и техническим условиям.
2. На основании произведенных измерений и испытаний станок признан годным к эксплуатации.
3. Электродвигатели и электроаппаратура переменного тока испытаны под напряжением _____ В.
4. Станок укомплектован принадлежностями и приспособлениями в соответствии с заказом.

Старший контрольный мастер

Начальник цеха

Начальник отдела технического контроля

« _____ » _____ 198 г.

Примечание. Римскими цифрами обозначены позиции инструментальных шпинделей или позиции поперечных суппортов.

Приложение

Расчет величины партий деталей

Величину партии деталей определяют в зависимости от типа производства.

В массовом и крупносерийном производстве для ритмичной работы сборочного цеха необходимо, чтобы ежедневный выпуск деталей n из механических цехов был не меньше чем

$$n = \frac{D}{\Phi} \text{ шт.}, \quad (1)$$

где D — количество деталей, требуемых по годовой программе; Φ — количество рабочих дней в году.

Если необходимо создать запас деталей на складе на t дней, то следует изготовить дополнительное количество деталей

$$n_{\text{зап}} = nt \text{ шт.} \quad (2)$$

В зависимости от того, в течение какого времени t_1 должен быть создан запас деталей по формуле (2), дневной выпуск, рассчитанный по формуле (1), нужно увеличить на величину

$$n_{\text{доп}} = \frac{n_{\text{зап}}}{t_1} = \frac{nt}{t_1} = \frac{Dt}{\Phi t_1}. \quad (3)$$

Таким образом, дневную партию деталей $n_{\text{дн}}$ на время создания запаса t_1 необходимо рассчитывать с учетом выражений (1) и (3) по формуле

$$n_{\text{дн}} = n + n_{\text{доп}} = \frac{D}{\Phi} + \frac{Dt}{\Phi t_1},$$

или

$$n_{\text{дн}} = \frac{D}{\Phi} \left(1 + \frac{t}{t_1} \right) \text{ шт.} \quad (4)$$

После того как запас создан, должно выпускаться деталей не меньше количества, определенного по формуле (1).

Если запас деталей, имеющихся на складе, будет израсходован, то снова, производя расчет по формуле (4), партию деталей следует запускать в производство, пока не будет создан новый запас деталей на заданное количество дней t_1 и т. д. Расчет партий деталей по формулам (1) и (4) обеспечивает ритмичную подачу деталей на сборку при изготовлении деталей на хорошо загруженных поточных линиях.

В серийном производстве на одном и том же станке выполняется обработка нескольких деталей с различной трудоемкостью. Поэтому при определении количества деталей в партии одновременно необходимо решать задачи ритмичной подачи деталей на сборку и хорошей загрузки станков.

При проектном расчете на основе формул (1) и (4) определяют дневной выпуск деталей по каждому наименованию и количество станков на каждой операции.

Обозначая трудоемкость изготовления детали на отдельных операциях механической обработки (калькуляционное время) через t_1, t_2, \dots, t_k , количество станков на каждой операции определяют по формулам:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{Dt_1}{\Phi}; \\ q_2 &= \frac{Dt_2}{\Phi}; \\ &\dots \\ q_k &= \frac{Dt_k}{\Phi}. \end{aligned} \quad (5)$$

Если после округления цифр, определенных по формулам (5), получается, что на всех операциях при обработке какой-либо детали $q_i \approx 1$ или другому целому числу, то обработка этой детали может быть запроектирована на постоянной поточной линии.

В этом случае расчет количества деталей в партии по формулам (1) и (4) обеспечивает ритмичный выпуск машин на сборке и необходимый запас деталей на складе.

Если какое-либо число $q_i < 0,75$, то соответствующие станки необходимо догружать другими работами или рассчитать переменнo-поточную линию для обработки однотипных деталей.

В последнем случае надо рассортировать детали по типам и размерам (валы, втулки, зубчатые колеса, рычаги и т. д.). Обозначив номера деталей, обрабатываемых на проектируемой переменнo-поточной линии, через $j = 1; 2; \dots; m$, номера операции через $i = 1; 2; \dots; k$, калькуляционное время обработки каждой детали на каждой операции (трудоемкость) через t_{ij} , определяют количество станков q_i на операциях каждого вида по формуле

$$q_i = \frac{D \sum_1^{km} t_{ij}}{\Phi}, \quad (6)$$

где D — количество деталей по программе; Φ — фонд времени работы станка.

Расчет времени обработки t_{ij} по формуле (6) можно вести по укрупненным нормативам с точностью $\pm 10\%$. Данные о величине t_{ij} вносятся в матрицу трудоемкости операций (табл. Д1).

В зависимости от очередности подачи деталей на сборку на основе этой матрицы комбинируют запуск в производство отдельных партий деталей. При этом общее время обработки не должно быть больше располагаемого фонда времени станков. Расчетное количество станков определяют по формуле (6) для каждого вида обработки.

Выпуск партии деталей рассчитывают на основе графика работы сборочного цеха и необходимости создания запаса на t дней в течение t_1 дней по формуле, шт.,

$$n = \frac{TD}{\Phi} + \frac{TDt}{\Phi t_1},$$

или

$$n = \frac{TD}{\Phi} \left(1 + \frac{t}{t_1} \right), \quad (7)$$

где T — количество дней, на которое требуется обеспечить сборку машин в следующем месяце.

Матрица трудоемкости операций

Номер детали	Трудоемкость операции						
	токарной t_1	фрезерной t_2	сверлильной t_3	l -й t_l	—	k -й t_k	$i=1; 2; \dots; k$ $j=1; 2; \dots; m$
1	t_{11}	t_{21}	t_{31}	t_{l1}	—	t_{k1}	
2	t_{12}	t_{22}	t_{32}	t_{l2}	—	t_{k2}	
—	—	—	—	—	—	—	
j	t_{1j}	t_{2j}	t_{3j}	t_{lj}	—	t_{kj}	
—	—	—	—	—	—	—	
m	t_{1m}	t_{2m}	t_{3m}	t_{lm}	—	t_{km}	
На все m деталей km $\sum_{i=1}^m t_{ij}$	$\sum_{i=1}^m t_{1j}$	$\sum_{i=1}^m t_{2j}$	$\sum_{i=1}^m t_{3j}$	$\sum_{i=1}^m t_{lj}$	—	$\sum_{i=1}^m t_{kj}$	
На программу km $D\sum_{i=1}^m t_{ij}$	$D\sum_{i=1}^m t_{1j}$	$D\sum_{i=1}^m t_{2j}$	$D\sum_{i=1}^m t_{3j}$	$D\sum_{i=1}^m t_{lj}$	—	$D\sum_{i=1}^m t_{kj}$	
Количество потребных станков $q_i = \frac{D\sum_{i=1}^m t_{ij}}{\Phi}$	$\frac{D\sum_{i=1}^m t_{1j}}{\Phi}$	$\frac{D\sum_{i=1}^m t_{2j}}{\Phi}$	$\frac{D\sum_{i=1}^m t_{3j}}{\Phi}$	$\frac{D\sum_{i=1}^m t_{lj}}{\Phi}$	—	$\frac{D\sum_{i=1}^m t_{kj}}{\Phi}$	

После создания запаса детали запускают на следующий период сборки по формуле, шт.

$$n = \frac{TD}{\Phi}.$$

Пример расчета количества станков при обработке в переменнo-поточной линии 5 наименований деталей на 4 станках приведен в табл. Д2.

Если по графику сборочного цеха детали должны быть поданы за одну декаду ($T = 10$ дней), запас на 5 дней ($t = 5$) должен быть создан в течение 20 дней ($t_1 = 20$), то по формуле (7) величина партии деталей, шт.

$$n = \frac{10 \cdot 6000}{300} \left(1 + \frac{5}{20} \right) = 250.$$

Матрица трудоемкости операций

Номер детали	Калькуляционное время, мин, для операции				Примечания
	токар-ной	фре-зерной	свер-лиль-ной	шли-фо-валь-ной	
1	10	5	3	5	Годовая программа $D = 6000$ шт. Число рабочих дней в году 300 Годовой фонд времени одно- го станка в две смены $\Phi =$ $= 300 \cdot 14 \cdot 0,75 = 3150$ ч
2	8	10	5	4	
3	15	6	6	10	
4	12	4	7	8	
5	20	8	4	12	
На все 5 деталей Σt_{ij} , мин	65	33	25	39	
На годовую программу $\frac{D \Sigma t_{ij}}{60}$	6500	3300	2500	3900	
Расчетное количество станков $q_i = \frac{D \Sigma t_{ij}}{60 \Phi}$	2,06	1,08	0,8	1,23	
Принятое количество станков	2	1	1	2	Необходима догрузка станка работами с других участков

Приложение 7

Примерное соответствие классов точности и квалитетов

Классы точности ОСТ		1	2	2а	3	3а	4	5	7	8	9
Квалите- ты СЭВ	Валы	5	6	7	8	10	11	12	14	15	16
	Отверс- тия	6	7	8	9						

Примерное соответствие полей допусков системы ОСТ и полей допусков ЕСДП СЭВ *

Поля ОСТ	Гр	Пр	Пл	Г	Т	Н	П	С
Поля ЕСДП	U ^T , u R	R, r S, s	P, p R, r	N, n	M, m	K, k	J, j	H, h

Поля ОСТ	Д	Х	Л	Ш	ТХ	Пр _{1з}	Пр _{2з}	Пр _{3з}
Поля ЕСДП	G, g	B, b E, e F, f	B, b C, c D, d E, e	A, a B, b C, c D, d	С			

* ЕСДП СЭВ — единая система допусков и посадок Совета Экономической Взаимопомощи.

Приложение 8

Обозначение марок материалов

Материал	Пример обозначения	Примечание
Серый чугун ГОСТ 1412—79	СЧ18—36	СЧ — серый чугун; 18 — предел прочности при растяжении, кг/мм ² ; 36 — предел прочности при изгибе, кг/мм ²
Высокопрочный чугун (с шаровидным графитом) ГОСТ 7293—79	ВЧ50—1,5	ВЧ — высокопрочный чугун; 50 — предел прочности при растяжении 122 кг/мм ² ; 1,5 — относительное удлинение, %
Ковкий чугун ГОСТ 1215—79	КЧ—45—6	КЧ — ковкий чугун; 45 — предел прочности при растяжении, кг/мм ² ; 6 — относительное удлинение, %
Антифрикционный чугун ГОСТ 1585—79	АСЧ—1 АВЧ—2 АКЧ—2	А — антифрикционный; СЧ — серый чугун; ВЧ — высокопрочный чугун; КЧ — ковкий чугун; Цифры — порядковые номера
Отливки из жаростойкого чугуна ГОСТ 7769—82	ЖЧХ16 ЖЧС5Ш ЖЧЮ6С5	ЖЧ — жаростойкий чугун. Цифры после букв — содержание легирующего элемента в целых единицах. Х — хром, С — кремний, Ю — алюминий, Ш — шаровидный графит
Отливки из конструкционной нелегированной и легированной стали	15 Л до 55 Л 27 ГЛ 40ХНЛ 20ДХЛ 30ДХСНЛ и т. д.	Первые две цифры — средняя массовая доля углерода в сотых долях процента. Л — литая. Г — марганец, Х — хром, Н — никель, Д — медь, С — кремний, Т — титан, В — вольфрам, Ф — ванадий, М — молибден

Материал	Пример обозначения	Примечание
Сталь углеродистая обыкновенного качества ГОСТ 380—71 гр. А — поставляемая по механическим свойствам, гр. Б — поставляемая по химическому составу, гр. В — поставляемая по механическим свойствам и по химическому составу	СТ0 до СТ6 БСТ0 до БСТ6 ВСТ2 до ВСТ5	Характеристика механических свойств см. в стандарте ГОСТ 380—71
Сталь углеродистая качественная ГОСТ 1050—74	Ст 10кп Ст 10 Ст 25Г Ст 35 Ст 65 и др.	Цифры — среднее содержание углерода в сотых долях процента, КП — кипящая сталь, Г — марганец (около 1 %).
Сталь конструкционная повышенной и высокой обрабатываемости резанием ГОСТ 1414—75	А 12 А 35 С АС 40 АС20ХГНМ А 40Г и др.	А — автоматная, Цифры — среднее содержание углерода в сотых долях %. С — свинецсодержащая; Е — наличие селена. Остальные обозначения по ГОСТ 4543—71 (ниже)
Сталь легированная конструкционная ГОСТ 4543—71	18ХГТШ 12ХНЗА и т. п.	Цифры впереди — среднее содержание углерода в сотых долях %. Цифры после букв — процентное содержание элемента. А — высококачественная, Ш — особо высококачественная Х — хром, Г — марганец, Т — титан, Н — никель. Могут быть: В — вольфрам, М — молибден, Ю — алюминий, Р — бор, С — кремний, Ф — ванадий, К — кобальт, Б — ниобий
Сталь теплоустойчивая ГОСТ 20072—74	Перлитного класса 12Х1МФ 20Х1М1Ф1БР 20Х3МВФ Мартенситного класса 15Х5 15ХВФ 12Х8ВФ	Обозначения по ГОСТ 4543—71 (выше)

Маршрут обработки блоков двигателей

Номер операции	Операция	Применяемое оборудование	Технологические базы
1	Обработка установочных площадок (вспомогательных баз)	Вертикально-фрезерный станок	Отверстия цилиндров и места под коленчатый вал *
2	Предварительное фрезерование верхней и нижней плоскостей	Карусельно-фрезерный станок	Отверстия цилиндров, установочные площадки
3	Чистовая обработка нижней плоскости	Вертикально-фрезерный или карусельный плоскошлифовальный станок	Поверхность под крышку цилиндров
4	Сверление и развертывание двух установочных отверстий в нижней плоскости	Радиально-сверлильный или специальный вертикально-сверлильный станок	Поверхность под крышку цилиндров
5	Черновая и чистовая обработка плоскостей, перпендикулярных базисной	Барабанно-фрезерный станок	Нижняя плоскость
6	Фрезерование второстепенных малых плоскостей	Горизонтально-, вертикально- и специальные фрезерные станки	То же
7	Обработка мест под коренные подшипники	Горизонтально-фрезерный или специальный протяжный станок	» »
8	Черновое и получистовое растачивание цилиндров	Специальные многошпиндельные расточные станки	» »
9	Сверление, зенкование, нарезание резьбы, развертывание малых отверстий	Специальные агрегатные станки	» »
10	Предварительная расточка гнезд под вставные втулки **	Специальные многошпиндельные расточные станки	» »
11	Чистовое и тонкое растачивание, предварительное и чистовое хонингование цилиндров	Специальные многошпиндельные и хонинговальные станки	» »
12	Окончательная обработка гнезд под вставные втулки **	Специальные многошпиндельные расточные станки	» »
13	Чистовая обработка мест под крышки подшипников коленчатого вала	Горизонтально-фрезерный или специальный протяжный станок	Поверхность под крышку
14	Сверление, зенкование отверстий под шпильки; нарезание в них резьбы	Специальные агрегатные станки	То же
15	Установка крышек подшипников коленчатого вала (слесарная операция)	Шпильковерты и гайковерты	—

* Для тракторных блоков в качестве базы принимают отверстия под вставные втулки.

** Операции для обработки тракторных блоков.

Средние режимы обработки деталей класса «диски»

Переход	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Сверление отверстий диаметром до 20 мм	23	0,25
Расверливание отверстий диаметром 20—70 мм	30	0,25
Зенкерование отверстий	15	1,00
Развертывание черновое	12	0,6
Развертывание чистовое	6	0,6
Растачивание черновое	50	0,36
Растачивание чистовое	64	0,15
Протягивание рядовое	7	—
Обтачивание черновое	105	0,4
Обтачивание чистовое	120	0,15
Черновое подрезание торцов	70	0,5
Чистовое подрезание торцов	174	0,4
Зубофрезерование червячной фрезой из быстрорежущей стали	25	1,8 на оборот заготовки
Зубодолбление (за один обкат) (долбяк из быстрорежущей стали)	21	$S_p = 0,06$ на двойной ход
Зубофрезерование червячных колес	25	$S_{кр} = 0,42$ на двойной ход
Шевингование зубчатых колес (приложение 2)	—	$S_p = 0,8$
	—	—

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бауман Н. Я. и др. Технология производства паровых и газовых турбин. М. : Машиностроение, 1973. 464 с.
2. Барташев Л. В. Техничко-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. М. : Машиностроение, 1973. 304 с.
3. Беспалов Б. Л. и др. Технология машиностроения. М. : Машиностроение, 1973. 456 с.
4. Волчкович Л. И. и др. Автоматы и автоматические линии: В 2-х т. М. Высш. школа, 1976. Т. 1. 230 с.; т. 2. 336 с.
5. Гранкин В. Я. и др. Лазерное излучение. М. : Воениздат, 1977. 192 с.
6. Гурин Ф. В. Технология автомобилестроения. М. : Машиностроение, 1975. 328 с.
7. Егоров М. Е. и др. Технология машиностроения. М. : Высш. школа, 1976. 534 с.
8. Коваленко В. С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. К. : Высш. школа, 1975. 234 с.
9. Корсаков В. С. и др. Основы технологии машиностроения. М. : Машиностроение, 1977. 416 с.
10. Медвідь М. В., Шабайкович В. А. Теоретичні основи технології машинобудування. Львів : Вища школа, 1976. 300 с.
11. Митрофанов С. П. Прогрессивные методы технологической подготовки серийного производства. Л. : Машиностроение, 1971. 390 с.
12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках : В 2-х ч. М. Машиностроение, 1974. Ч. 1. 412 с.; ч. 2. 200 с.
13. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. М. : Машиностроение, 1974. 136 с.
14. Сафраган Р. Э. и др. Эксплуатация станков с числовым программным управлением. К. : Техніка, 1974. 308 с.
15. Спиридонов А. А., Федоров В. Б. Металлорежущие станки с программным управлением. М. : Машиностроение, 1972. 352 с.
16. Справочник. Производство зубчатых колес. М. : Машиностроение, 1975. 728 с.
17. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. М. : Машиностроение; 1973. Т. 1. 694 с.; т. 2. 512 с.
18. Яхимович В. А. Транспортно-загрузочные и сборочные устройства и автоматы. К. : Техніка, 1976. 192 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Основы проектирования комплексных технологических процессов	5
§ 1. Технические и экономические факторы, учитываемые при разработке технологических процессов	6
§ 2. Основы типизации технологических процессов	18
§ 3. Принципы построения комплексных процессов механической обработки деталей	21
§ 4. Оценка экономичности комплексных технологических процессов	28
§ 5. Общая оценка экономической эффективности внедрения нового оборудования	54
Глава II. Комплексные процессы обработки типовых деталей машин	56
§ 6. Технологические базы и условия, влияющие на комплексные технологические процессы	56
§ 7. Особенности технологии в автоматизированном производстве	62
§ 8. Обработка корпусных деталей	69
§ 9. Процессы обработки деталей класса «круглые стержни»	96
§ 10. Обработка деталей класса «полые цилиндры»	123
§ 11. Процессы обработки деталей класса «диски»	136
§ 12. Процессы обработки деталей класса «некруглые стержни»	160
§ 13. Процессы обработки небольших деталей сложной формы	169
§ 14. Процессы обработки деталей класса «крепежные детали»	175
§ 15. Процессы изготовления специальных деталей	177
§ 16. Особенности обработки деталей тяжелых машин	195
Глава III. Новые методы обработки и формообразования деталей машин	200
§ 17. Упрочняюще-отделочная обработка давлением	200
§ 18. Электрофизические методы обработки	204
Глава IV. Процессы сборки машин	212
§ 19. Теоретические основы сборки машин	212
§ 20. Виды сборки	216
§ 21. Способы сборки	217
§ 22. Проектирование процессов сборки	230
§ 23. Механизация и автоматизация процессов сборки	232
§ 24. Испытание узлов и машин	236
§ 25. Определение трудоемкости и себестоимости сборки машин	237
§ 26. Достижения и перспективы развития технологии машиностроения	240
Приложения	245
Список литературы	270

Картавов Сергей Алексеевич

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(специальная часть)

Головное издательство
издательского объединения
«Вища школа»

Редактор *А. И. Каминовский*
Обложка художника *Л. Б. Сергия*
Художественный редактор *С. В. Анненков*
Технические редакторы *Л. Ф. Волкова,*
С. Л. Светлова
Корректор *Р. П. Киевская*

Сдано в набор 27.05.83. Подписано к печати 04.05.84. БФ 30733.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага типогр. № 3. Лит гарн. Выс. печать. 17 печ. л. 17,25 кр.-отт. 19,61 уч.-изд. л. Зак. 212. Тираж
15 000 экз. Изд. № 6140. Цена 85 к.

Головное издательство издательского объединения «Вища школа»,
252054, Киев-54, ул. Гоголевская, 7

Отпечатано с матриц Головного предприятия республиканского
производственного объединения «Полнграфкинг», 252057, Киев,
ул. Довженко, 3 в Белоцерковской книжной ф-ке,
ул. Карла Маркса, 4