

# РАЗДЕЛ №1

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

### Глава1

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

##### 1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

Продуктом конечной стадии машиностроительного производства, в зависимости от его назначения, является изделие (станок, пресс, трактор и т. п.) или детали и узлы изделия.

Для своего производства машиностроители получают с металлургических заводов исходные материалы — всевозможные стали, сплавы и заготовки.

На машиностроительном заводе отдел главного технолога занимается разработкой технологического процесса изготовления деталей изделия и конструкций специальных приспособлений, режущего и измерительного инструмента. Инструментальный цех готовит всю технологическую оснастку.

После технической подготовки производства приступают к изготовлению деталей, из которых затем собирают изделия.

Производственным процессом называют совокупность отдельных процессов, выполняемых для получения из материалов или заготовок готовых изделий (машин, станков).

В производственном процессе объединены все основные и вспомогательные процессы, связанные с изготовлением деталей машин и их сборкой. К вспомогательным процессам относятся, например, транспортировка заготовок и деталей, контроль изделий, изготовление инструментов и приспособлений, упаковка готовой продукции и т. д.

Часть производственного процесса, непосредственно связанная с постепенным превращением заготовок в готовое изделие, называется технологическим процессом.

Технологический процесс включает в себя все виды механической обработки, термическую обработку и сборку. Механическая обработка предназначена для изменения размеров и формы заготовки, термическая — для изменения физических свойств материала, а сборка — для последовательного соединения деталей в узлы и готовые изделия.

Для выполнения технологического процесса должно быть организовано и оборудовано рабочее место.

Рабочее место обычно представляет собой часть площади цеха, предназначенной для выполнения работы одним или группой рабочих. На этой площади размещены оборудование, инструменты, приспособления, стеллажи для хранения заготовок и деталей.

## 2. СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Процесс механической обработки расчленяется на отдельные операции и их части — установки, позиции, переходы, проходы и рабочие приемы.

Операцией называется часть технологического процесса механической обработки одной или нескольких деталей, выполняемая на одном рабочем месте одним или группой рабочих.

При производственном планировании за основу принимают операцию. Расчет оборудования, определение потребного количества рабочих и т. д. почти всегда производят исходя из норм времени, установленных на ту или иную операцию.

Трудоемкость спроектированного технологического процесса, а также качество изготовления деталей определяются длительностью и последовательностью выполнения операций.

Операции присваивают наименование в зависимости от вида обработки. Например, механическая обработка валика из горячекатаного проката (рис. 1) будет состоять из операций: центровочной, токарной, фрезерной, шлифовальной и слесарной.

Операция может быть выполнена за одну или несколько установок. Так, операцию, связанную с образованием на заготовке двух центровых отверстий (рис. 1, а), на двухстороннем центровочном станке можно выполнить за одну установку, а на одностороннем — за две установки, так как в последнем случае валик после центрования одного торца устанавливается другим торцом к шпинделю станка и заново закрепляется. При обработке валика в центрах (рис. 1, б) токарную операцию также можно выполнить за две установки.

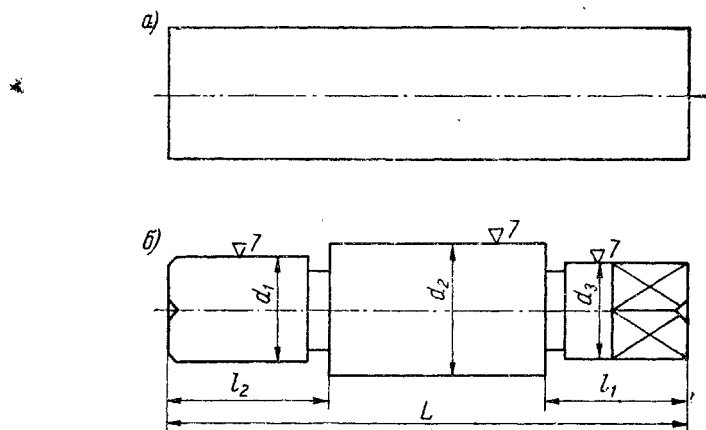


Рис. 1. Валик:  
а — заготовка, б — деталь.

Итак, установка — это часть операции, осуществляемая при одном закреплении детали.

Обработка квадрата на правом конце валика (см. рис. 1, б) на вертикально-фрезерном станке в машинных тисках производится за 4 установки. Чтобы обрабатываемая поверхность валика заняла необходимое положение относительно режущего инструмента, потребуется 4 раза открепить и закрепить деталь.

При обработке данной детали в специальном приспособлении она займет необходимое положение относительно режущего инструмента при одном закреплении. Следовательно, все плоскости квадрата можно обработать за одну установку, причем

обрабатываемая плоскость валика будет занимать новую позицию относительно инструмента с помощью поворотных устройств приспособления.

Позицией называется определенное положение обрабатываемой детали относительно режущего инструмента при неизменном ее закреплении.

Сокращение числа установок при выполнении операции и замена их позициями позволяют сократить время на переустановку, выверку и закрепление детали и уменьшить величину погрешностей, возникающих при каждой новой установке. Но замена установок позициями требует применения специальных приспособлений, которые оправдывают себя только в крупносерийном и массовом производстве. Операция, установка или позиция может быть выполнена за один или несколько переходов.

Переход — это часть операции (установки или позиции), осуществляемая на одном участке поверхности детали одним инструментом и при одном режиме резания.

Из рис. 1,а видно, что выполнение токарной операции связано с обработкой нескольких поверхностей — обточки наружных поверхностей, подрезки торца и проточки канавки. Эти поверхности обрабатываются различными инструментами при различных режимах резания. В данном случае токарная операция разделяется на три перехода.

Обработать конец валика (см. рис. 1,б) с уменьшением диаметра  $d_2=60$  мм до диаметра  $d_3=35$  мм за один проход невозможно, так как в данном случае величина припуска слишком велика. Такой толстый слой металла снимается за несколько проходов.

Проходом называют часть операции (или перехода), при которой снимается один слой металла. Все проходы, если их несколько, выполняются без изменения режима работы станка.

Частью прохода является рабочий прием. Им принято называть законченное действие рабочего, необходимое для выполнения операции. Рабочие приемы весьма разнообразны. Они могут быть связаны с установкой и снятием детали, сменой инструмента, настройкой станка на необходимый режим резания, переключением станка и т. п.

При проектировании технологического процесса механической обработки в него включают и промежуточные операции — контрольные испытания, слесарные операции и др.

Операции и переходы нумеруют. В технологической карте операция обозначается римскими цифрами, а переходы — арабскими. Установки указываются буквами. В каждой операции их обозначение начинается с буквы А. Проходы знаками не обозначают, но указывают их число.

При точном расчете норм времени на операцию нормируется время и на установки, позиции, проходы и рабочие приемы.

### 3. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДЫ РАБОТЫ

В машиностроении различают три основных типа производства — единичное (индивидуальное), серийное и массовое — и два метода работы — поточный и непоточный.

Каждому типу производства соответствуют свои методы его подготовки и планирования. Различаются они и по форме организации труда, степени детализации при разработке технологических процессов, организации ремонта и т. д.

Единичным (индивидуальным) называется такое производство, при котором изделие выполняют в одном или нескольких экземплярах; как правило, повторно этих изделий почти никогда не изготавливают. Такое производство существует в тяжелом и химическом машиностроении, судостроении и т. д.

В единичном производстве применяются универсальные станки, универсальные приспособления и нормальные инструменты, обеспечивающие обработку разнообразных деталей. Специальные инструменты и специальные приспособления почти не используются, так как на их изготовление требуются большие затраты. Установка и выверка заготовок на станках осуществляются с помощью разметки и универсальных измерительных средств. Точность изготовления детали контролируется также универсальными измерительными инструментами — штангенинструментами, микрометрами, индикаторами и т. п.

Квалификация рабочих при единичном производстве обычно высокая, но производительность труда значительно ниже, а себестоимость детали выше, чем при серийном и массовом производстве.

В машиностроении наиболее широкое распространение получило серийное производство, при котором изделия выпускают партиями или сериями различной величины. В зависимости от размера партий и частоты повторяемости их в течение года различают мелкосерийное, серийное и крупносерийное производство. Основным отличием серийного производства от единичного является менее разнообразная номенклатура изделий, изготавливаемых на каждом рабочем месте, и периодическая повторяемость партий изделий.

В серийном производстве уменьшается процент универсальных станков, зато увеличивается удельный вес специализированных и специальных станков. Широко применяются такие станки, как револьверные, токарные многолезцовые, а в крупносерийном производстве также токарные полуавтоматы и автоматы. Специализация станков позволяет использовать специализированные и специальные приспособления и режущий инструмент, обеспечивающие повышение производительности труда и снижение себестоимости изделий. Для контроля точности обработки деталей часто применяются предельные калибры.

Для серийного производства характерен дифференцированный технологический процесс изготовления деталей. Он расчленен на ряд небольших по объему операций, выполняемых на различных станках. Операции, требующие более одной установки, в серийном производстве обычно не встречаются. Квалификация рабочих значительно ниже, чем в индивидуальном, а производительность труда выше.

Серийное производство распространено во всех отраслях промышленности.

Массовое производство характеризуется большим количеством изготавливаемых изделий, что позволяет на каждом рабочем месте выполнять только одну, постоянно повторяющуюся операцию.

В массовом производстве широко применяются автоматические станки узкой специализации, специальные приспособления и режущий инструмент. Размеры изготавливаемой детали контролируют с помощью специальных приспособлений, причем часто в процессе обработки. В зависимости от используемого оборудования технологический процесс механической обработки разбит на ряд мелких операций, осуществляемых на отдельных специальных автоматах, или предусматривает выполнение многих переходов на многошпиндельных автоматах, многопозиционных агрегатных станках и т. д.

Массовое производство обеспечивает наиболее экономичную обработку изделий. Этот тип производства широко распространен в автомобильной и тракторной промышленности, на заводах, выпускающих сельскохозяйственное оборудование, мотоциклы и ряд других изделий.

Тип производства зависит от заданной программы и трудоемкости изготовления изделия и определяется тактом выпуска и коэффициентом серийности.

Под тактом понимается промежуток времени между выпуском двух следующих одна за другой машин и их сборочных единиц — деталей или заготовок. При проектировании технологических процессов механической обработки величина такта выпуска определяется формулой:

$$t_B = \frac{60F_D m}{N} \text{ мин/шт,}$$

где  $F_D$  — действительный годовой фонд времени работы оборудования в одну смену, в часах;

$m$  — число рабочих смен;

$N$  — годовая программа выпуска деталей, в шт.

Коэффициент серийности показывает количество разных операций, закрепленных за одним станком, и рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{сер} = \frac{t_B}{T_{шт}},$$

где  $t_B$  — такт выпуска деталей;

$T_{шт}$  — среднее штучное время по операциям обработки детали.

Чтобы определить  $T_{шт}$ , необходимо произвести укрупненный расчет или принять время по аналогичным операциям, выполняемым на базовых заводах.

Для массового производства  $K_{сер} < 2$ , для крупносерийного  $K_{сер}$  от 2 до 10, для среднесерийного  $K_{сер}$  от 10 до 20 и мелкосерийного  $K_{сер} > 20$ .

Таким образом, зная величину такта выпуска и коэффициент серийности, можно предварительно определять тип производства.

При поточном производстве операции механической обработки закреплены за определенными рабочими местами, которые расположены по порядку, предусмотренному технологическим процессом, а обрабатываемая деталь передается с одной операции на другую без существенных задержек.

Непоточным производством называется такое, при котором изготавливаемые

детали в процессе обработки находятся в движении с перерывами различной продолжительности, т. е. процесс обработки ведется с меняющейся величиной такта.

## Глава 2 ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

При выборе заготовок необходимо учитывать конфигурацию, размеры и вес детали. Материал заготовки должен соответствовать требованиям, предъявляемым к детали. Следует также учитывать точность и качество заготовок и периодичность их использования.

Выбор заготовки — это значит установить способ ее получения, рассчитать размеры, назначить припуски на обработку каждой поверхности и указать допуски на неточность изготовления.

Заготовки деталей машин получают литьем, обработкой давлением, из проката, а также комбинированными способами.

### 4. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ЛИТЬЕМ

Отливки (заготовки) из черных и цветных металлов можно получать в песчаных, оболочковых и металлических формах, центробежным литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением.

Точность литых заготовок находится в пределах 4— 9-го классов. Она зависит от способа литья, формы и размеров отливок. Из рис. 2 видно, что самую низкую точность имеют отливки, полученные в песчаных формах, а самую высокую — литьем под давлением.

**Литье в песчаные формы.** Для получения отливок простых форм в условиях единичного и мелкосерийного производства применяют открытую формовку в почве по моделям. Для крупных отливок используют закрытую формовку в почве по моделям, шаблонам с вертикальной осью вращения, протяжным шаблонам и по скелетной модели.

Мелкие и средние заготовки в единичном и мелкосерийном производстве отливают в формы, выполненные вручную в опоках по моделям или шаблонам.

Машинную формовку применяют в серийном и массовом производстве. При отливке небольшой партии заготовок (50 — 100 шт.) используют деревянные модели а значительной партии — металлические модели.

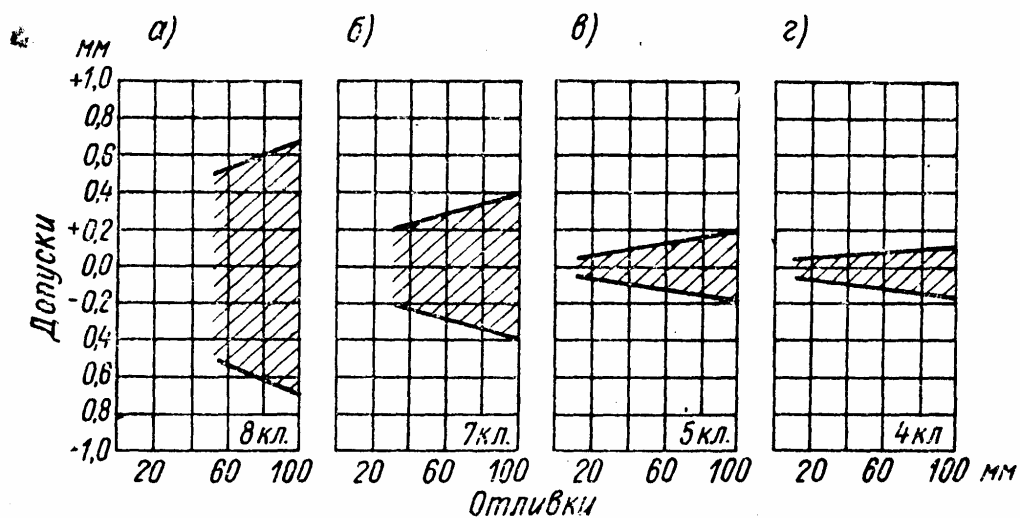


Рис. 2. Пределы допусков и классы точности для различных видов литья:

*а* — в песочные формы; *б* — в оболочковые формы и в кокиль; *в* — по выплавляемым моделям; *г* — литье под давлением.

Ответственные заготовки сложной конфигурации отливают в стержневых формах. Форма собирается из стержней по шаблонам и кондукторам и обеспечивает 7—9-й классы точности (ГОСТ 2689-54).

Литые заготовки с точностью грубее 9-го класса получают при ручном изготовлении форм и стержней и при использовании деревянных моделей и стержневых ящиков.

Шероховатость поверхности литых заготовок обычно грубее 1-го класса чистоты. Минимальная толщина стенок отливки зависит от ее размеров и материала. Для чугунных отливок, имеющих габаритный размер до 250 мм, она составляет 3—5 мм, а для стальных отливок — 5—8 мм.

Получение литья в оболочковых формах основано на свойстве термореактивной смоло-песчаной смеси принимать форму подогретой металлической модели с образованием сравнительно тонкой и быстро затвердевающей оболочки.

Этим методом изготавливают преимущественно сложные, повышенной точности заготовки из чугуна, стали и цветных сплавов весом до 25—30 кг, а иногда и более крупные отливки — весом до 100 кг. Такой способ дает возможность получать стальные литые заготовки с толщиной стенок 3—5 мм, а отливки из алюминиевых сплавов с толщиной стенок 1—1,5 мм и с литыми отверстиями диаметром от 8 мм и более и глубиной до 20 мм. Допускаемые отклонения на размеры отливок соответствуют 4—7-му классам точности, а шероховатость поверхности — 3—4-му классам чистоты.

Для изготовления оболочковых полуформ применяют ручные, полуавтоматические и автоматические установки. Этот метод экономичен не только для массового, но и для мелкосерийного производства ответственных заготовок при выпуске их от 500 до 5000 шт. в год.

**Литье в постоянные формы.** Литье в металлические формы (кокиль)

применяется для получения заготовок из черных и цветных металлов следующего веса: чугунных — от 10 г до 10 т, стальных — от 0,5 кг до 4 т, из цветных металлов и сплавов — от 5 г до 500 кг.

Этот вид литья отличается высокими механическими свойствами и равномерным мелкозернистым строением, а также большой точностью размеров и форм заготовок (5—7-й классы); шероховатость поверхности их соответствует 3—5-му классам чистоты. Часто получают отливки, не требующие дальнейшей очистки и обработки.

Заготовки, отлитые в кокиль, не должны иметь резких переходов по толщине стенок.

Стойкость форм при литье заготовок из легкоплавких металлов и сплавов (цинка, алюминия, магния) — сотни тысяч отливок, из стали — 600—700 мелких, 150—250 средних и 20—25 крупных отливок.

Металлические формы в большинстве случаев выполняют из серого чугуна и реже из стали. В крупносерийном и массовом производстве используются кокильные литейные машины, работа которых механизирована и автоматизирована.

**Центробежное литье.** Принцип получения заготовок этим способом состоит в том, что жидкий металл заливают в быстровращающуюся форму. Под действием центробежных сил металл отбрасывается к поверхности формы и затвердевает, принимая ее очертания. Полученные отливки обладают мелкозернистой структурой и повышенными механическими свойствами.

Этим методом чаще всего изготавливают заготовки, имеющие форму тел вращения; образование внутренних полостей заготовок происходит без применения стержней.

Путем центробежного литья можно изготовить биметаллические заготовки как заливкой жидкого металла на твердую поверхность, так и последовательной заливкой жидких металлов.

Точность стальных и чугунных заготовок соответствует 7—8-му классам, шероховатость поверхности — 1-му классу чистоты.

При центробежном литье используют металлические и футерованные формы-изложницы. Формы-изложницы, изготовленные из легированных сталей, позволяют получать 2000—3000 отливок.

**Литье по выплавляемым моделям (прецизионное, или точное).** Этим способом получают весьма точные отливки сложной конфигурации из труднообрабатываемых резанием материалов весом от 1 г до 500 кг, с толщиной стенок от 0,15 мм и длиной до 1 м и более. Минимально допустимый диаметр литого отверстия составляет 0,8 мм. Можно отливать и резьбу.

Точность заготовок, полученных литьем по выплавляемым моделям, соответствует 3—5-му классам, а шероховатость поверхности — 4—6-му классам чистоты.

Этот метод целесообразно применять главным образом в условиях крупносерийного производства, но в ряде случаев положительные результаты могут быть получены и при мелкосерийном производстве.

**Литье под давлением** — высокопроизводительный, способ получения точных заготовок из цинковых, алюминиевых, магниевых и латунных сплавов. Последующая механическая обработка таких заготовок либо совершенно



исключается, либо сводится к выполнению отдельных операций.

Этот метод применяется для изготовления сложных тонкостенных заготовок с глубокими полостями и сложными пересечениями стенок, с отверстиями, резьбой и другими элементами. В настоящее время литье под давлением широко используется и для получения деталей сложной конфигурации из жаропрочных и нержавеющей сталей.

Точность заготовок соответствует 4—5-му классам. Тщательная обработка формы позволяет повысить точность отдельных заготовок до 3-го, а иногда и до 2-го класса.

Литье под давлением позволяет осуществлять армирование заготовок.

Стойкость форм зависит от вида заливаемого сплава и ориентировочно определяется следующими данными: для цинковых сплавов—150000 отливок, алюминиевых и магниевых — 40 000 и медных — 5000 отливок. Так как стоимость форм для литья под давлением весьма высокая, этот способ целесообразно применять только в массовом и крупносерийном производстве.

## 5. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ

К обработке металлов давлением относят прокатку, прессование, волочение, свободную ковку, горячую и холодную объемную штамповку, листовую штамповку и некоторые специальные процессы, например ротационное деформирование, отделочную и упрочняющую обработку.

Прокатку, прессование и волочение обычно осуществляют на металлургических заводах. Широкое распространение получила обработка металлов давлением и на машиностроительных предприятиях.

**Свободная ковка.** В единичном и мелкосерийном производстве поковки различных форм и размеров (рис. 3) получают свободной ковкой на ковочных молотах и гидравлических ковочных прессах. Поковки обычно имеют большие припуски на механическую обработку.

В мелкосерийном производстве при изготовлении заготовок применяют подкладные штампы, позволяющие уменьшить припуски и приблизить форму заготовки к форме детали. Заготовку, полученную свободной ковкой с помощью универсального кузнечного инструмента, помещают в подкладной штамп, где она принимает форму, близкую к форме готовой детали.

Исходным материалом для фасонных поволоков весом до 40 кг служит сортовой прокат, а весом до 300 кг — крупный прокат или обжатая болванка.

Точность размеров поволоков из углеродистой и легированной стали, выполняемых свободной ковкой на прессах, регламентируется ГОСТом 7062-54, а на молотах — ГОСТом 7829-55.

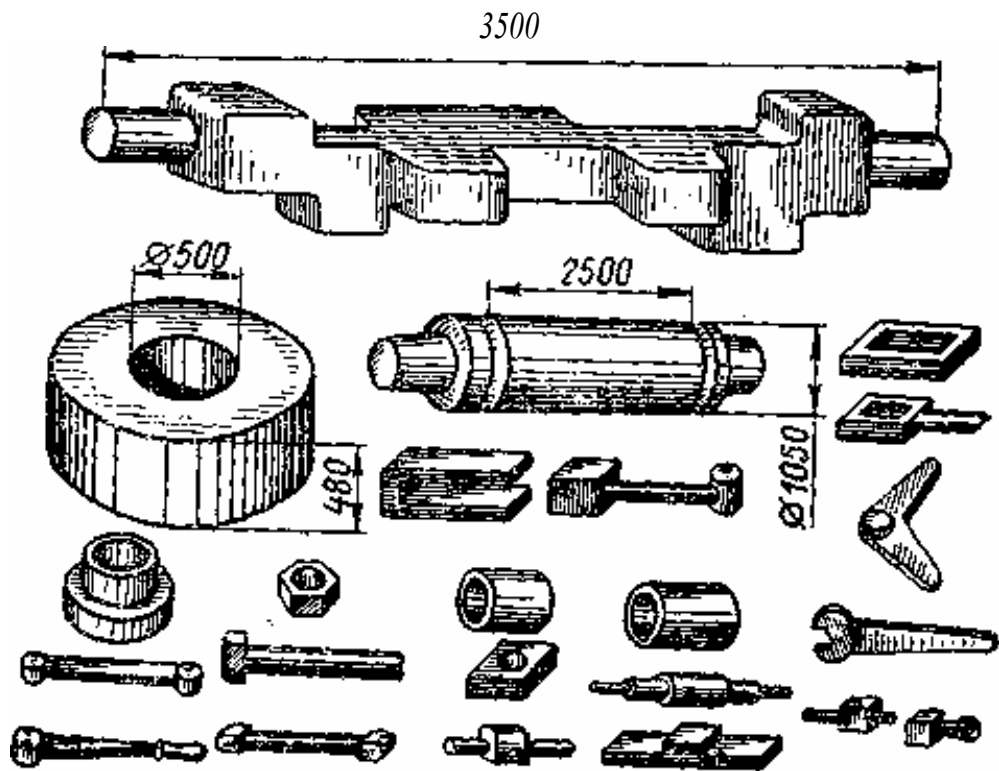


Рис. 3. Поковки, изготовленные свободной ковкой.

Точность заготовок, полученных с помощью подкладных штампов, приближается к 3-й группе точности по ГОСТу 7505-55.

**Горячая объемная штамповка** широко используется в крупносерийном и в несколько меньших масштабах в массовом производстве. Этим способом получают заготовки разных форм и размеров из сталей, цветных металлов и сплавов на молотах, прессах и других машинах.

Горячую объемную штамповку выполняют в открытых и закрытых штампах. Наличие в открытом штампе облойной канавки, в которую может вытекать металл, позволяет делать исходную заготовку неточной. При штамповке в закрытых штампах облой отсутствует, поэтому объем заготовки может быть уменьшен, однако исходная заготовка должна быть точной. В закрытых штампах обычно штампуют детали, представляющие собой тела вращения — диски, шестерни и т. п.

Чтобы получить более точные по размерам поковки, сразу же после горячей обрезки заусенцев производится калибровка их на штамповочных молотах или на кривошипных прессах.

Точность, припуски и напуски для штампованных заготовок, изготовляемых на молотах, регламентируются ГОСТом 7505-55.

**Штамповка на молотах.** Заготовки штампуют на молотах в подкладных и молотовых штампах.

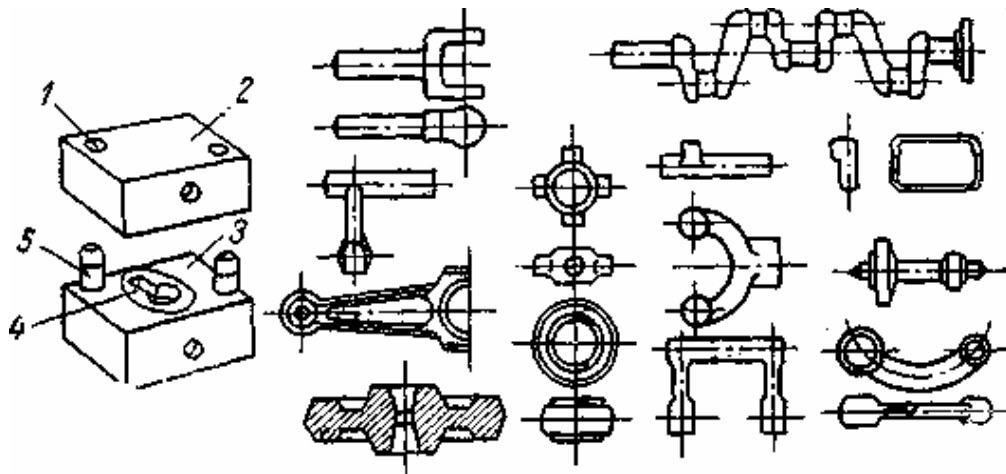


Рис. 4. Подкладной штамп и поковки, штампуемые на молотах.

В подкладных штампах изготавливают заготовки простых форм и в небольших количествах. Подкладной штамп (рис. 4) состоит из двух половин 2 и 3, взаимно ориентируемых штифтами 5, входящими в отверстие. В каждой половине штампа образованы рабочие полости 4, которые соответствуют форме и размерам заготовки.

В молотовых штампах изготавливают детали более сложных форм в условиях крупносерийного и массового производства.

Фасонные, а также пустотелые заготовки цилиндрической формы штампуют на гидропрессах. Пустотелые заготовки получают путем прошивки в них отверстия с последующей протяжкой через кольца.

**Штамповка на горизонтально ковочных машинах (ГКМ).** При штамповке на ГКМ применяют штампы с разъемными матрицами. В этих штампах получают поковки высадкой из прутка, труб или мерных исходных заготовок.

На ГКМ обычно штампуют заготовки для стержней со всевозможными головками и утолщениями, а также для простых и сложных колец и т. п. (рис. 5).

Этот способ характеризуется высокой производительностью, экономией металла и повышенной точностью получаемых заготовок (8 — 9-го классов). Диаметр исходного прутка зависит от конфигурации заготовки. Для штамповки применяют прутки и трубы длиной от 3,5 до 4 м и диаметром от 20- до 270 мм. Допуски и припуски на заготовки, изготавливаемые на ГКМ, регламентируются ГОСТом 7505-55.

**Ротационная ковка** предназначена для получения поковок вытяжкой в фасонных бойках в холодном или горячем состоянии. Обрабатываемые заготовки имеют вид стержней или труб с круглым, прямоугольным, многогранным или фасонным сечением. Форма и размеры сечения по длине заготовки могут быть переменными.

Принципиальная схема ротационной ковки приведена на рис. 5. Бойки с матрицами 5 размещены в пазах шпинделя 3 и имеют возможность перемещаться в них. При вращении шпинделя под действием центробежных сил бойки 5 расходятся, а когда ролики 1 находят на ролики 2, свободно насаженные в отверстиях обоймы 4, они начинают сходить к центру и обжимают заготовку 6. При ротационной ковке в холодном состоянии точность заготовок находится в пределах от  $\pm 0,02$  до  $\pm 0,2$

мм, а шероховатость поверхности соответствует 8 — 9-му классам чистоты.

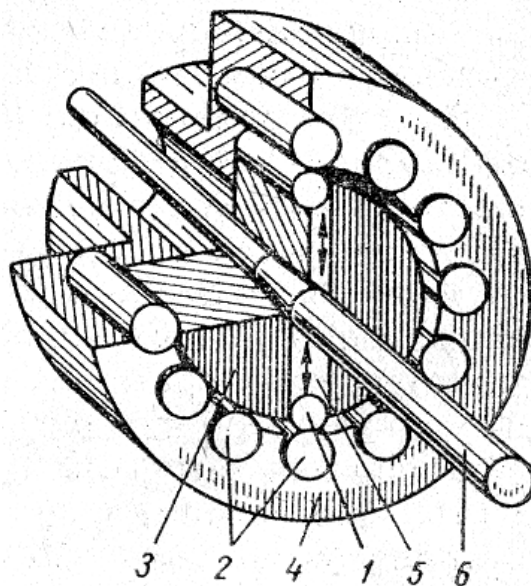


Рис. 5. Схема ротационной ковки

**Холодная объемная штамповка (высадка).** К этому способу получения заготовок относят объемную штамповку осадкой и выдавливанием, холодную высадку, калибровку, чеканку, выдавливание полостей в массивных заготовках.

Рассматриваемый метод позволяет получать заготовки 3—4-го классов точности с шероховатостью поверхности 7—9-го классов чистоты.

При получении заготовок холодной объемной штамповкой (особенно выдавливанием) резко сокращаются объем механической обработки и отходы металла в стружку. Вследствие механического упрочнения в процессе выдавливания малоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей предел прочности их при растяжении и предел текучести значительно повышаются.

Холодной объемной штамповкой изготавливают детали диаметром 80—100 мм и длиной 100—200 мм. Объемная штамповка осадкой позволяет выпускать мелкие рычажки, защелки и т. п.

Процесс холодного выдавливания применяется для получения сплошных или полых цилиндрических заготовок, а также заготовок шестигранных, квадратных и других форм.

Холодной высадкой изготавливают крепежные детали, панели, толкатели шарики и т. п. Высадка осуществляется на прессах-автоматах. Исходным материалом служат калиброванные прутки диаметром до 30 мм из углеродистых или легированных сталей, цветных металлов и сплавов.

**Холодная листовая штамповка** применяется для изготовления плоских пространственных тонкостенных деталей из листового, ленточного, полосового металла или неметаллических материалов.

Листовой металл толщиной от 0,15 до 8 мм штампуют в холодном состоянии, а толщиной от 8 до 60 мм — в горячем. Точность листовых штампованных деталей соответствует 3—4-му классам. На металлорежущих станках их обычно не обрабатывают.

## 6. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПРОКАТА

Детали мелких и средних размеров изготавливают на металлорежущих станках из сортового и фасонного проката. Для деталей типа валов широко используют горячекатаные и калиброванные прутки.

В соответствии с ГОСТом 2590-57 круглая горячекатаная сталь бывает обычной и повышенной точности. Круглый стальной прокат обычной точности выпускается диаметром от 5 до 250 мм 8—9-го классов точности для изготовления деталей с меньшим диаметром и несколько грубее 9-го класса точности — для деталей с большим диаметром.

Круглая сталь повышенной точности выпускается диаметром от 5 до 150 мм и отличается от обычной более жесткими (на 10—30%) допусками (на диаметр).

Местная кривизна прутка горячекатаной стали независимо от ее точности допускается не более 5 мм на 1 пог. м.

Калиброванная круглая сталь (ГОСТ 7417-57) изготавливается диаметром от 3 до 100 мм по 2а классу точности для деталей диаметром от 30 мм, по 3—3а классам — для деталей диаметром до 65 мм и по 4—5-му классам — для деталей с различными диаметрами. Местная кривизна прутка на 1 пог. м допускается для диаметров до 25 мм в пределах 0,5—3 мм в зависимости от класса точности; для диаметров больше 25 мм — 0,5—1 мм независимо от класса точности.

Круглая сталь повышенной точности и с улучшенной отделкой поверхности (серебрянка) в соответствии с ГОСТом 2589-44 выпускается диаметром от 0,2 до 25 мм с допусками по 3—4-му классам точности. Местная кривизна прутка допускается не более 0,5 мм на 1 пог. м.

Детали соответствующей конфигурации изготавливают из квадратной, шестигранной, полосовой стали, а также из стали других профилей, из бесшовных и сварных труб.

**Гнутые профили** используются для производства многих заготовок и деталей. Профилированием получают открытые, закрытые и многослойные профили. Форма гнутых профилей может быть приближена к форме готовой детали. Точность размеров и формы гнутых профилей очень высокая. При изготовлении деталей из фасонных труб переменного сечения экономия металла достигает 70%:

**Холодное волочение.** Волочением можно получать заготовки любого фасонного профиля (рис. 6). В настоящее время широко распространено волочение сплошных прутков различной формы диаметром до 200 мм, труб диаметром от десятых долей миллиметра до 200—350 мм, проволоки диаметром от 0,002 до 30 мм, полых профилей диаметром до 200 мм.

Допускаемые отклонения размеров получаемых заготовок — до 4-го класса точности, шероховатость поверхности — до 6-го класса чистоты. При многократном волочении заготовок можно достичь 3—5-го классов точности и шероховатости поверхности 8—9-го классов чистоты.

Небольшие по длине нестандартные профили можно изготовить на любом машиностроительном заводе на горизонтальных или вертикальных протяжных станках.

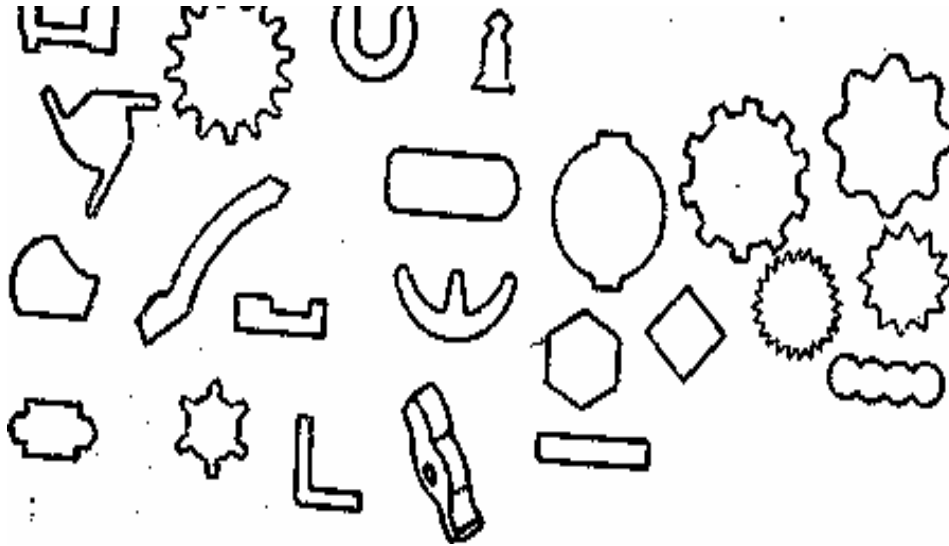


Рис. 6. Профили, получаемые волочением.

### Глава 3

## ПОДГОТОВКА ЗАГОТОВОК К МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Перед механической обработкой почти все заготовки подвергаются предварительной обработке. У литых заготовок отделяют литники и выпоры, производят очистку их и в отдельных случаях термическую обработку. Штампованные заготовки после удаления облоя и пленки очищают и калибруют. Прокат в виде прутков правят и разрезают на штучные заготовки. Заготовки для деталей типа валов центруют.

Все эти операции выполняются на заготовительных участках или в заготовительных цехах.

### 7. ОБРУБКА И ОЧИСТКА ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Литники и выпоры у отливок удаляют различными способами. У чугунных литых заготовок небольших размеров их отбивают молотком или кувалдой. У крупных чугунных отливок, а также у отливок из легированных сталей литники и выпоры отрезают на дисковых пилах, токарных и фрезерных станках (в зависимости от конструкции заготовки). Заготовки из углеродистой стали освобождают от литников и прибылей с помощью газовой резки.

На заводах массового производства процесс обрубки и снятие случайных неровностей у литых заготовок механизированы: эти операции выполняются на специализированных фрезерных и шлифовально-обдирочных станках.

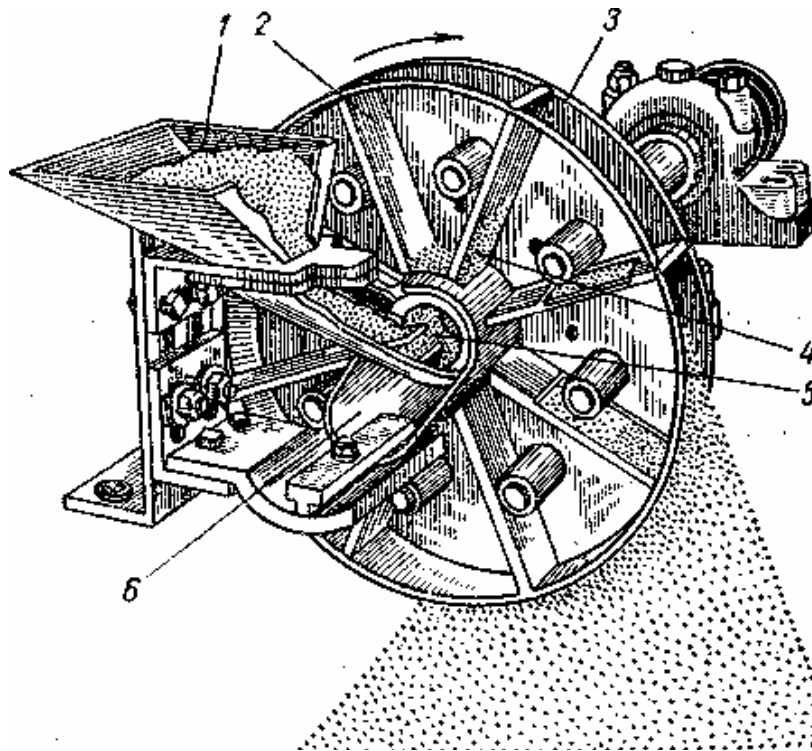


Рис. 7. Схема дробеструйной установки.

При ручной очистке литых заготовок применяют стальные щетки и ручные зубила.

На машиностроительных заводах широкое распространение получила механизированная очистка.

Заготовки средних размеров очищают металлическим песком (дробью) в специальных камерах или установках.

Дробеструйные установки представляют собой вращающиеся барабаны, столы, кабины и камеры непрерывного и периодического действия, применяемые для очистки литых заготовок любого веса, формы и размера.

Схема дробеструйной установки показана на рис. 7. Из воронки 1 дробь по трубе поступает на вращающееся колесо 3 с лопатками 5, которое заключено в коробке 6 с отверстием 4. Дробь, вылетая из этого отверстия, подхватывается рабочими лопатками 2 колеса и со скоростью 50—70 м/сек выбрасывается на литые заготовки и очищает их.

Литые заготовки из стали, чугуна и цветных металлов подвергают термической обработке, при этом снимаются внутренние напряжения и улучшается обрабатываемость металлическими инструментами.

## 8. ОБРЕЗКА, ОЧИСТКА И КАЛИБРОВКА ШТАМПОВОК

Облои и пленки у штампованных заготовок удаляют обрезкой или пробивкой (прошивкой) в штампах на обрезных кривошипных прессах.

Обрезку и прошивку заготовок выполняют в горячем или холодном состоянии. Заготовки из высокоуглеродистой и высоколегированной стали перед обрезкой в холодном состоянии отжигают для предупреждения появления трещин в зоне реза.

Для придания штампованным заготовкам заданной микроструктуры и необходимых механических свойств их подвергают термической обработке — нормализации, улучшению и т. п.

После обрезки и термической обработки заготовки правят в холодном или в горячем состоянии.

Очищают заготовки от окалины металлической дробью в специальных установках, травлением, галтовкой во вращающихся барабанах и т. д. Заготовки, у которых нежелателен поверхностный наклеп дробью, очищают травлением.

Для придания штампованной заготовке или отдельным ее частям точных размеров и высокого качества отделки поверхности применяют калибровку и чеканку, которые производят в холодном или горячем состоянии. Перед холодной калибровкой или чеканкой заготовки отжигают или нормализуют и очищают от окалины.

После калибровки в холодном состоянии точность заготовок достигает 3—4-го классов, а шероховатость поверхностей — 7—9-го классов чистоты.

## 9. ПРАВКА ЗАГОТОВОК ИЗ ПРОКАТА

Валы, оси и другие подобные детали изготавливают из горячекатаного или холодноотянутого круглого проката. Местная кривизна прутков на 1 пог. м регламентирована ГОСТами. Однако часто прутковый материал поступает на машиностроительные заводы в изогнутом состоянии. Большая кривизна прутков иногда вызывает необходимость увеличения припусков на обработку, нарушает нормальную работу станка и инструмента.

При изготовлении деталей из прутков горячекатаной стали кривизна заготовок перед механической обработкой допускается в пределах от 1/6 до 1/4 припуска на диаметр детали. Для устранения большой кривизны и сохранения ее в указанных пределах заготовка подвергается правке. На машиностроительных заводах производят правку изгибом (холодная правка) и в некоторых случаях местным нагревом.

В настоящее время на заводах применяются следующие способы холодной правки: ручная, на прессах, на правильных машинах, на правильно-отрезных и правильно-калибровочных станках.

**Ручная правка** является малопроизводительным способом исправления кривизны и применяется в условиях единичного и мелкосерийного производства. Правка производится на плите с помощью ударов молотка непосредственно по выпуклой части заготовки. Точность такой правки невысокая — местные неровности могут достигать 2—3 мм.

Ручная правка в центрах с помощью струбцин, рычагов, домкратов или специальных нагрузочных устройств используется для исправления зацентрованных заготовок. На рис. 8,а показана правка в центрах с помощью струбцин. Этот способ правки позволяет достичь высокой точности — биение составляет 0,1—0,3 мм на 1 пог. м.



Для правки прутка и штучных заготовок диаметром до 30 мм используют ручные винтовые прессы (рис. 8,б). Местная кривизна прутка выдерживается в пределах 0,15 мм на 1 пог. м.

**Правка на прессах** более производительна и менее трудоемка по сравнению с ручной правкой. Она производится на механических, пневматических и гидравлических прессах. Заготовки диаметром 30—50 мм правятся на пневматических прессах, диаметром 60—100 мм — на механических и диаметром до 150 мм — на гидравлических.

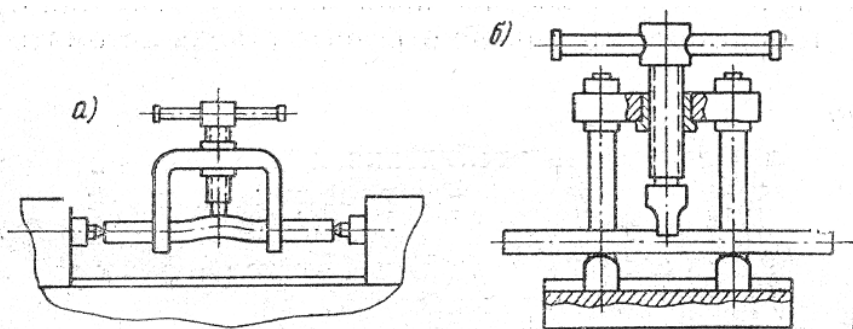


Рис. 8. Правка в центрах с помощью струбцин (а) и винтового пресса (б).

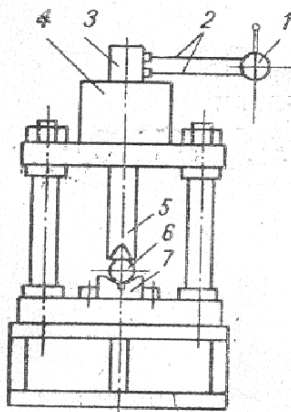


Рис. 9. Схема пневматического пресса правки и рихтовки прутков.

Точность правки на прессах примерно такая же, как и на ручных прессах.

Промышленность выпускает несколько моделей механических и гидравлических прессов. Схема пневматического пресса для правки холоднотянутых прутков диаметром 20—30 мм приведена на рис. 9. С помощью крана управления 1 по воздухопроводам 2 через распределительную головку 3 воздух подается либо в верхнюю, либо в нижнюю полость пневмоцилиндра 4. При рабочем ходе поршень, опускаясь, давит штоком 5 на выпуклую часть прутка 6, установленного на двух призмах 7. Эта операция повторяется до тех пор, пока кривизна на прутке не исчезнет либо не будет в пределах допустимой величины. Затем пруток перемещается и производится правка нового участка, и т. д.

**Правка на станках** — наиболее производительный способ; здесь процесс правки совмещен с процессом транспортировки или подачи заготовки.

Правильно-отрезные и правильно-калибровочные станки широко

распространены на машиностроительных заводах.

Для правки и резки круглого стального проката диаметром от 0,25 до 6 мм, поставляемого в мотках или бухтах, используют правильно-отрезные станки-автоматы.

Станки моделей ИО35В, ИО35Г и другие предназначены для правки и отрезки круглых, квадратных и шестигранных прутков из цветных металлов и сплавов диаметром от 3 до 16 мм. Остаточная кривизна прутков после правки на автоматах составляет 0,5—0,7 мм на 1 пог. м длины.

Правильно-калибровочный станок (рис. 10) является наиболее совершенным оборудованием

для правки прутка до механической обработки и калибровки после нее.

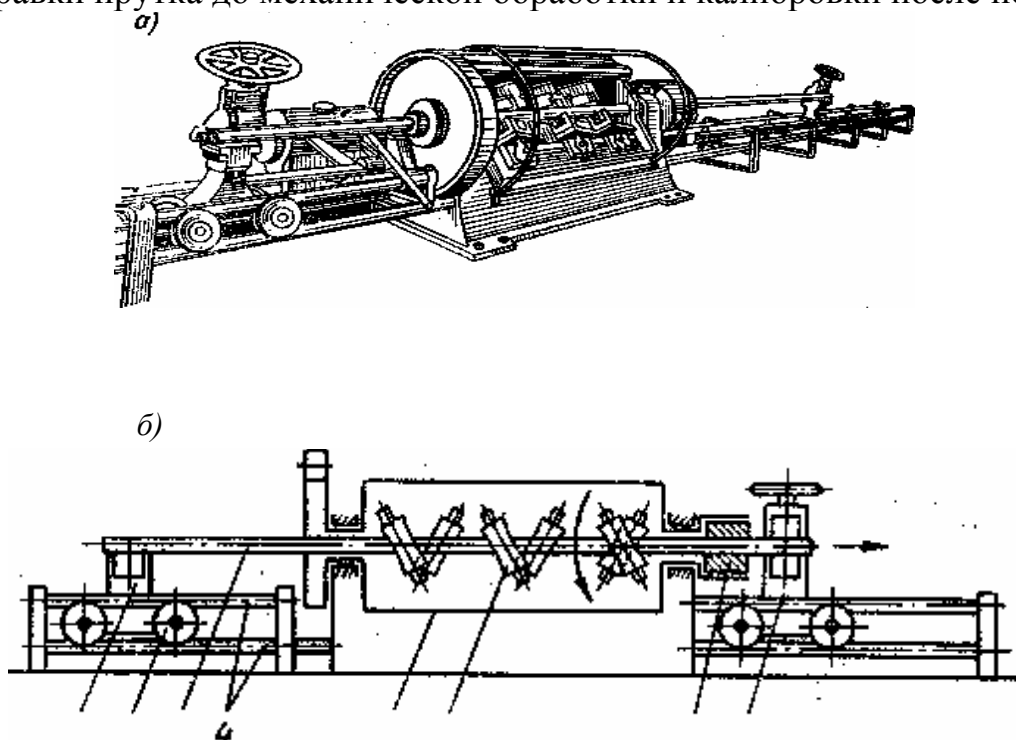


Рис. 10. Правильно-калибровочный станок (а) и схема его работы (б)

В этом станке пруток 3 не вращается. Концы его закреплены в тележках 1, 7 и 8, которые передвигаются на роликах 2 по направляющим 4. В процессе правки пруток проходит сквозь правильное устройство в виде вращающейся рамы 5, которая приводится в движение электродвигателем 10 через коробку скоростей 9. С рамой связаны три пары роликов 6, имеющих форму однополостного гиперboloида. Ролики наклонены к оси прутка под углом 20—25°. Вращение рамы вызывает вращение роликов 6 и обкатывание их вокруг невращающегося прутка 3, что обеспечивает продольное перемещение его вместе с тележками 1 и 8 без какого-либо специального механизма.

Черный прокат правится за 1—2 прохода, калибровка детали выполняется за 3 прохода. Точность правки черной заготовки — 0,5—0,9 мм на 1 пог. м; точность калибровки — 0,1—0,2 мм на 1 пог. м.

Промышленность выпускает правильно-калибровочные станки моделей 9412, 9416, 9417, 9419, 2К-61 и ПК-290.

## 10. РЕЗКА ЗАГОТОВОК

Резка штучных заготовок с припусками на обработку торцов в зависимости от типа производства выполняется различными способами. Рассмотрим наиболее распространенные в машиностроении способы резки.

Резка дисковыми пилами на фрезерно-отрезных станках проката диаметром до 500 мм широко осуществляется не только в единичном, но и в серийном производстве, так как этот способ резки универсален, точен, прост и высокопроизводителен.

На фрезерно-отрезных станках в зависимости от их размеров используются пилы диаметром от 350 до 2000 мм и выше и шириной соответственно от 4 до 14,5 мм.

Наибольшее применение находят фрезерно-отрезные станки отечественного производства моделей 866, 8А66, 8Б66, 8А68 и 8631.

Фрезерно-отрезные станки старых моделей автоматизированы лишь в части ускоренного подвода и отвода пильной бабки и переключения ее на рабочую подачу. Закрепление же прутка и подача его до упора при резке следующей заготовки осуществляются вручную со значительными затратами физических усилий. Поэтому на многих заводах произведена модернизация некоторых моделей фрезерно-отрезных станков с целью автоматизации всего цикла резки заготовок.

На ленинградском станкостроительном заводе им. Я. М. Свердлова у модернизированного фрезерно-отрезного станка мод. 8А66 весь цикл резки, в том числе и подача прутка, полностью автоматизирован. Станок (рис. 11) оснащен дополнительными узлами: механизмом подачи 2 прутка, поджимным роликом 4, упором 7 и системой конечных выключателей и упоров.

Механизм подачи 2 состоит из двух рифленых роликов в виде двойных конусов. Ролики получают вращение от электродвигателя 3 через червячную и зубчатую передачи со скоростью 18 об/мин. Механизм подачи 2 смонтирован на ползунке 1 и с помощью гидропривода может подниматься или опускаться по направляющим, расположенным на вертикальной стенке станины. Поджимной ролик 4 установлен на кронштейне 6 в верхней части станины и служит упором при подаче прутка, исключая пробуксовывание его на роликах механизма подачи. Поджимной ролик 4 с помощью винта 5 регулируется по высоте в зависимости от диаметра разрезаемой заготовки. Электроупор 7 смонтирован на специальной стойке 8 и обеспечивает получение требуемой длины заготовки. Отрезанная заготовка попадает в лоток 9 и скатывается в тару.

Работает станок следующим образом. После очередной отрезки пильная бабка отходит назад и своим упором переключает золотник гидросистемы, что обеспечивает открепление прутка и подъем механизма подачи до упора прутка в поджимной ролик 4. В момент достижения пильной бабкой крайнего заднего положения происходит включение электродвигателя 3 механизма подачи.

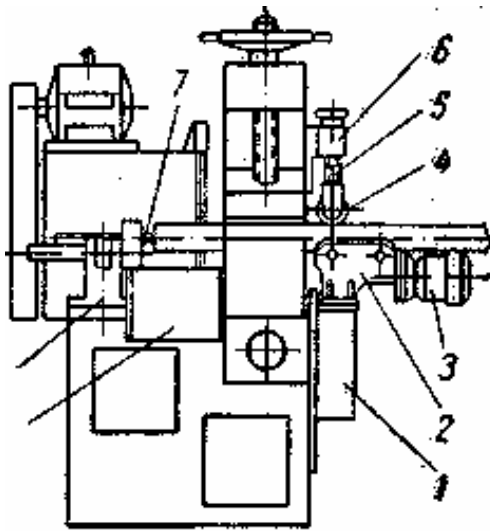


Рис. 11. Схема модернизации фрезерно-отрезного станка мод. 8А66.

Пруток подается вперед до тех пор, пока левый его конец не упрется в электроупор 7. В этот момент электродвигатель 3 отключается, и происходит включение гидравлической системы станка, обеспечивающей зажим прутка, быстрый подвод пильной бабки и переключение ее на рабочую подачу. После окончания резки прутка цикл автоматически повторяется.

**Резка на приводных ножовках** применяется в единичном и мелкосерийном производстве для заготовок из круглого и профильного проката с размерами до 250—300 мм. Достоинствами этого способа являются чистая поверхность среза (3—4-й классы), малый перекося торца заготовки (до 2—2,5 мм на 100 мм диаметра) и малая ширина реза (1—3,5 мм). В целях повышения производительности резки ее осуществляют в призматических тисках, куда укладывают пакет прутков.

На заводах применяются и приводные ножовки-станки. Наибольшее распространение имеют станки моделей 872 и 872А. В этих станках подъем и опускание пильной рамы, подача при резке, а также небольшой подъем при обратном ходе производятся с помощью гидропривода.

**Резка ленточными пилами** предназначена для получения заготовок из черных и цветных металлов и пластмасс диаметром до 250 мм. Резка производится пилой, представляющей собой бесконечную стальную ленту с зубьями, расположенными на ее ребре.

К достоинствам этого способа надо отнести: высокую производительность, чистый срез (до 5-го класса), малую ширину реза (0,8—1,3 мм), сравнительную простоту конструкции станка и малую мощность, расходуемую при резке. Недостатком этого способа является сравнительно небольшой срок службы пильных лент.

Отечественная промышленность выпускает станки моделей 8531, 3Р95, 8543, 8543А и С408. Станки моделей 8531 и 3Р95 предназначены для разрезания черных и цветных металлов, а также пластмасс, поэтому они имеют широкий предел скоростей резания — от 0,25 до 14,2 м/сек. Станки моделей 8543 и 8543А служат для резки сортового проката, а станок мод. С408 является специальным. Все станки, за исключением С408, имеют бесступенчатое регулирование скоростей резания. Станок 8543А представляет собой автомат.

**Резка пилами трения.** Сущность этого процесса состоит в том, что диск или лента, движущаяся со скоростью  $u=100—120$  м/сек, расплавляет металл благодаря теплу, возникающему при трении.

Пилами трения разрезают прокат на заготовки определенной длины любых профилей и марок. Этот способ резки высокопроизводителен, но широкого распространения на машиностроительных заводах не получил, так как при резке образуются наплывы, которые необходимо снимать, и происходит подкалка торцов.

Пила мод. МП-26 позволяет разрезать прутки диаметром от 20 до 100 мм, а также отрезать прибыли и литники в чугуновых и стальных литых заготовках. Цикл резки автоматизирован.

**Резка заготовок отрезными резцами** широко применяется на заводах. Достоинствами этого способа являются: высокая точность и чистота поверхности среза, универсальность, возможность осуществления его на самых разнообразных станках токарного типа. К недостаткам следует отнести: большую ширину реза, низкую стойкость отрезных резцов и необходимость последующей зачистки торцов заготовки.

В единичном и мелкосерийном производстве резку резцами производят на токарных или револьверных станках, а в массовом — на специализированных и специальных токарно-отрезных станках, либо на одно- и многошпиндельных автоматах.

**Абразивными кругами** разрезают заготовки из твердых сплавов и термически обработанных (закаленных) сталей диаметром до 50 мм. Этот способ высокопроизводителен и обеспечивает высокую точность и хорошее качество поверхности среза.

Резку осуществляют на станках переносного типа ОШП-1, а также на станках МП-42, МП-66 и РС-49.

Для абразивной резки применяют круги-диски формы Д (ГОСТ 2424-60) диаметром от 80 до 500 мм и толщиной от 0,5 до 4 мм на вулканитовой и бакелитовой связках. Для разрезания легированных и закаленных сталей используют круги с зернистостью 40—60 и твердостью С.

Для резки твердых сплавов, керамики, стали и т. п. служат алмазные круги (ГОСТ 1011-62) диаметром от 50 до 320 мм и толщиной от 0,15 до 2 мм. Зернистость алмазных порошков — от А5 до А50 (ГОСТ 9206-59) с концентрацией 25, 30 и 100% на металлической связке. Скорость резки абразивными кругами назначают в пределах от 50 до 80 м/сек.

**Газовая (кислородная) резка** применяется в основном для вырезки фигурных заготовок из листового проката. Этот процесс механизирован и автоматизирован. Резка прутков проката выполняется вручную.

К специальным способам резки относят анодно-механическую, электроэрозионную, электромеханическую, электроконтактную, ультразвуковую, а также резку электронным лучом и плазменным факелом.

Все эти способы могут конкурировать с обычными способами резки в том случае, когда разрезаются труднообрабатываемые материалы.

## 11. ЦЕНТРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК

При обработке деталей типа валов за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий обоих торцов заготовки. Это позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности вала на единичных базах с установкой его в центрах. Центровые отверстия также используются в качестве баз при правке, контроле и ремонте деталей.

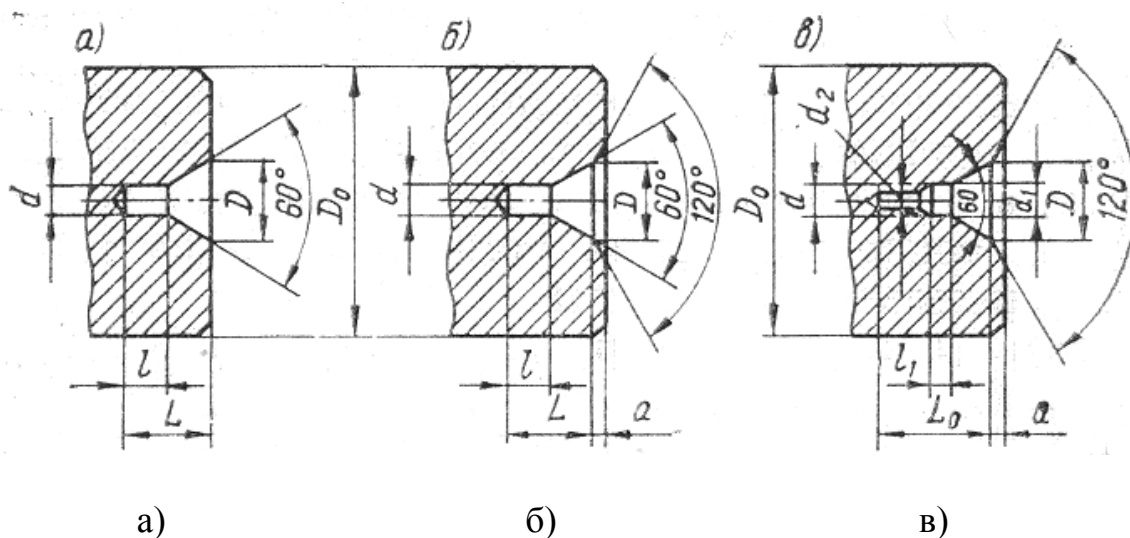


Рис. 12. Центровые отверстия

Размеры и форму центровых отверстий выбирают в зависимости от нагрузки, приходящейся на центр. Центровые отверстия должны быть точно обработаны.

В соответствии с ОСТом 3725 центровые отверстия выполняют трех типов (рис. 12). Центровые отверстия без предохранительного конуса (рис. 12,а) предназначены для неответственных деталей, а также при центровании заготовок под черновую обработку с последующей термообработкой и перецентровкой. Центровые отверстия с предохранительной фаской (рис. 12,б) применяют в тех случаях, когда необходимо предохранить коническую часть центрового отверстия от случайных повреждений или сохранить величину ее опорной поверхности без изменения при подрезке торца. Кроме того, эта форма центрового отверстия предназначена для деталей, у которых центровые отверстия необходимы не только при обработке, но и при их восстановлении (центровые оправки, развертки, зенкеры, протяжки и т. п.).

Центровые отверстия с резьбой (рис. 12,в) применяют в тех случаях, когда надо предохранить их от повреждения при транспортировке готовых деталей. В центровые отверстия в этих случаях ввертывают пробки.

Угол конусной части центрового отверстия для деталей средних размеров принимают равным  $60^\circ$ . В целях повышения прочности центра при обработке тяжелых деталей этот угол увеличивают до  $75^\circ$  и даже до  $90^\circ$ . Однако при увеличении угла конусной части осевое усилие, необходимое для надежного закрепления заготовки в центрах, потребует значительно большим, чем при  $60^\circ$ . Кроме того, износ центровых отверстий с углом  $60^\circ$  меньше сказывается на точности обработки, чем при центровых отверстиях с углом  $75^\circ$  и  $90^\circ$ .

К центровым отверстиям предъявляются следующие требования:

1. Оси центровых отверстий должны быть соосны с осью заготовки.
2. Конусность центрового отверстия должна совпадать с конусностью центров станка.
3. Оси центровых отверстий заготовки должны по возможности лежать на одной прямой линии. Несоблюдение этого условия ведет к уменьшению поверхности контакта между центром и отверстием, к увеличению удельного давления и к интенсивному и неравномерному износу центровых отверстий.
4. Ось центровых отверстий, которая является и осью вращения, должна обеспечить равномерное снятие припуска, как по окружности, так и по всей длине заготовки.

Так как при центровании заготовок деталей типа валов за базу принимается наружная поверхность, заготовки перед центрованием должны быть выправлены.

Точность совпадения осей центровых отверстий зависит от способа получения заготовок.

При центровании поковок с подрезанными торцами на центральном станке погрешность центрования обычно составляет 1—3 мм, при центровании заготовок горячекатаного проката — 0,25—1 мм, при центровании заготовок из проката повышенной точности — 0,14—0,7 мм и из калиброванного проката — 0,05—0,2 мм.

На заводах применяют два способа центрования: за два перехода — сначала цилиндрическими сверлами, а затем зенковкой (рис. 13, а) и за один переход — комбинированным центровочным сверлом (рис. 13, б). Оба способа центрования находят применение, как в мелкосерийном, так и в массовом производстве.

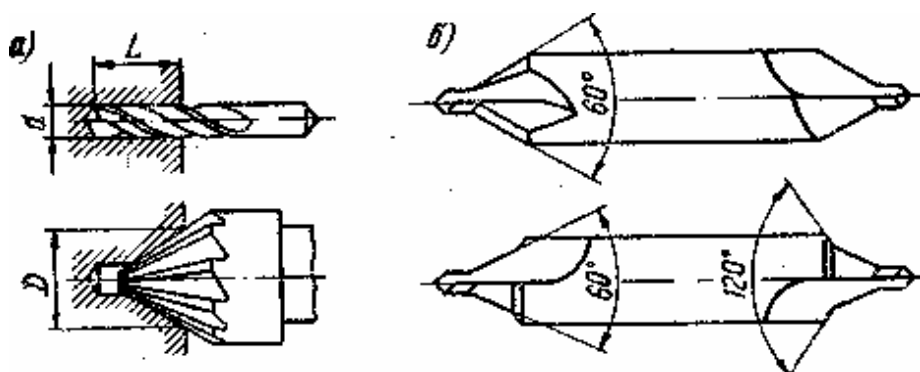


Рис. 13. Способы центрования.

Центрование заготовок на машиностроительных заводах выполняется на самых разнообразных станках, а именно:

- на токарных, револьверных, сверлильных, расточных и др.;
- на специализированных одно- и двусторонних центровальных;
- на специализированных фрезерно-центровальных.

Центрование тяжелых заготовок выполняется с помощью дрели по разметке за два прохода — сверление цилиндрическим сверлом, а затем зенкование.

Центрование заготовок больших размеров производится на расточных станках; эта операция совмещается с подрезкой торцов. Крупные заготовки иногда центруют с помощью переносных радиально-сверлильных станков. Центрование в этих

случаях делается по разметке с применением центровискателей и других приспособлений.

В мелкосерийном и единичном производстве Центрование производится на токарных и револьверных станках. Заготовка пропускается через шпиндель и закрепляется в патроне. Центровочное сверло устанавливается в пиноли задней бабки или в револьверной головке.

Все эти способы центрования малопроизводительны и недостаточно точны.

В крупносерийном и массовом производстве центрование производится на специализированных одно- и двусторонних центровальных станках, автоматах и полуавтоматах.

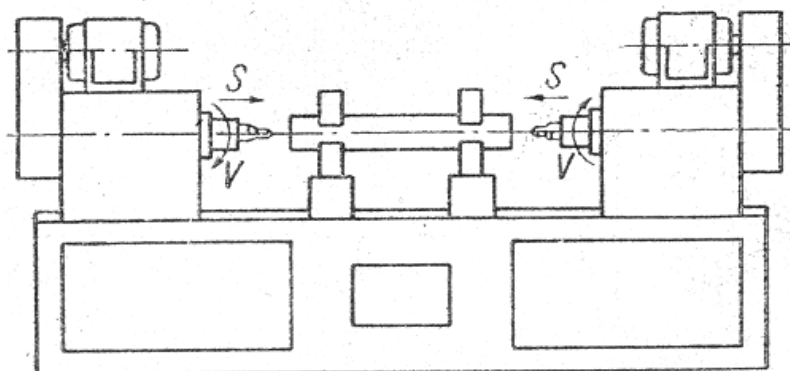


Рис. 14. Схема образования центровых отверстий на двустороннем станке.

Двусторонние центровальные станки имеют простую компоновку (рис. 14). У них две сверлильные головки. Центровальные сверла закрепляются в пинолях сверлильных головок и получают скорость резания  $v$  и движение подачи  $s$ . Заготовка закрепляется в призмах. Скорость резания на таких станках  $v=10—30$  м/мин, а подача  $s=0,3—0,10$  мм/об. На них можно центровать заготовки диаметром до 160 мм и длиной до 1500 мм.

Станки моделей ВС-69, Э202 и А982М являются полуавтоматами, которые после установки заготовки работают по автоматическому циклу.

Наиболее производительным и точным видом оборудования для центрования являются двусторонние и фрезерно-центровальные автоматы и полуавтоматы. На этих станках торцовыми фрезами обрабатывают торцы и комбинированными сверлами центруют заготовку с одной установки.

Станки моделей МР-71, МР-73 и МР-75 являются высокопроизводительными двусторонними фрезерно-центровальными полуавтоматами, предназначенными для мелкосерийного и массового производства. На них можно центровать заготовки диаметром до 125 мм и длиной до 2250 мм.

Работа этих станков происходит таким образом, что вначале производится одновременное фрезерование обоих торцов фрезами, установленными на фрезерной бабке, а затем заготовка автоматически перемещается на следующую позицию, где выполняется центрование с обеих сторон одновременно комбинированными сверлами, расположенными в шпинделях сверлильных бабок.



## Глава 4

# РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

## 12. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Почти все способы получения заготовок не обеспечивают требуемых для деталей машин точности и шероховатости поверхностей. Высокое качество деталей достигается механической обработкой. Следовательно, поверхности заготовок, подвергающиеся механической обработке, должны иметь размеры, которые отличаются от размеров готовой детали. Размеры наружных поверхностей должны быть увеличены, а внутренних — уменьшены на величину, необходимую для выполнения механической обработки.

Снимаемый в процессе механической обработки слой металла в целях получения заданной точности и заданной шероховатости поверхности называется припуском. Различают припуски промежуточные и общие.

Промежуточным припуском называется слой металла, удаляемый при выполнении данной операции механической обработки. Этот припуск определяется как разность размеров заготовки, полученных на предшествующей и выполняемой операциях. Промежуточный припуск часто называют операционным или межоперационным.

Общим припуском называется слой металла, снимаемый при выполнении всех операций механической обработки данной поверхности, начиная от черновой заготовки до готовой детали. Величина общего припуска определяется разностью аналогичных размеров заготовки и готовой детали по рабочему чертежу.

Общий припуск на обработку той или иной поверхности равен сумме промежуточных припусков всех операций.

Величина припусков имеет весьма существенное технико-экономическое значение при разработке технологических процессов.

Завышенные припуски вызывают увеличение расхода материала на изготовление деталей, снижение производительности станка и ухудшение качества детали. Это происходит потому, что с увеличением глубины резания уменьшаются режимы резания и увеличивается число проходов, что сказывается на производительности станка. Кроме того, при снятии большого припуска одновременно удаляется и наиболее износостойчивый верхний слой металла.

Заниженные припуски не обеспечивают возможности удаления дефектных слоев металла и получения требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей. А в ряде случаев заниженные припуски создают плохую обрабатываемость, так как режущему инструменту приходится работать в зоне твердой литейной корки или окалины.

Колебания размеров заготовок в широких пределах и назначение слишком больших допусков на промежуточные размеры вызывают и соответствующие колебания общего и промежуточных припусков. Это затрудняет обработку на настроенных станках и в приспособлениях, а также увеличивает рассеивание размеров и снижает точность обработки.

В крупносерийном и массовом производстве стремятся к получению заготовок

с минимальными припусками, требующих возможно меньшей механической обработки.

Припуск измеряется по нормали к обработанной поверхности и, как правило, указывается на сторону. При обработке наружных и внутренних поверхностей тел вращения припуск располагается симметрично и большей частью указывается на диаметр.

### **13. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЕЛИЧИНУ ПРИПУСКА**

Величина припуска на обработку зависит от многих факторов. К основным факторам надо отнести: материал заготовки; формы и размеры заготовок; вид заготовки и способ ее изготовления; точность и качество обрабатываемых поверхностей; технические условия на изготовление детали.

Материал заготовок. Почти все способы получения заготовок образуют на их поверхностях дефектный слой в виде твердой корки, окарины, трещин, пузырей и т. д. При одном и том же способе получения заготовок величина дефектного слоя будет зависеть от материала заготовок. Для литых заготовок из чугуна толщина твердой корки бывает от 1 до 2 мм, а из стали — от 1 до 3 мм. Толщина обезуглероженного слоя у штамповок из легированной стали до 0,5 мм, а из углеродистых — 0,5— 1,0 мм.

Чтобы обеспечить нормальную обрабатываемость заготовок, необходимо, чтобы глубина резания была больше величины дефектного слоя. Следовательно, величина дефектного слоя должна быть частью припуска.

Формы и размеры заготовок тоже оказывают влияние на величину припуска. Чем сложнее форма, тем больше должна быть величина припуска. При свободной ковке увеличивают припуск для упрощения формы заготовки; при штамповке — для улучшения течения металла; при литье делают плавные переходы от тонких стенок к толстым для равномерного остывания металла и т. д.

Вид заготовок и способы их изготовления. О способах получения заготовок уже говорилось в гл. 2 книги. Там же было показано, что литые заготовки могут быть получены различной точности. Самые неточные литые заготовки бывают при ручной формовке, а самые точные — отлитые в оболочковых и металлических формах, а также литье под давлением и по выплавляемым моделям. Очевидно, у литья, полученного при ручной формовке, величина припуска будет больше, чем у заготовок, отлитых по выплавляемым моделям.

Точность штампованных заготовок гораздо выше точности поковок, поэтому припуски у поковок гораздо больше, чем у штампованных заготовок.

Точность и качество обработанных поверхностей также оказывают влияние на величину припуска. Например, для обработки заготовки из горячекатаного проката по наружной поверхности с точностью 5-го класса достаточно одной операции, а для обработки этой же заготовки с точностью 2-го класса необходимы 4 операции. Для каждой промежуточной операции механической обработки необходимо оставлять припуск. Таким образом, общий припуск зависит и от количества операций, и от способов механической обработки.

Если деталь в процессе механической обработки подвергается и термической

обработке, то на величину припуска окажет влияние деформация детали. Припуск на механическую обработку увеличится.

Технические условия на изготовление детали. Чем выше требование к точности и качеству обработки поверхностей, тем больше, как правило, величина припуска. Если из одной и той же заготовки деталь изготавливают по 5-му и 14-му классам чистоты, то величина припуска будет большей при обработке по 14-му классу.

## 14. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ

В машиностроительной промышленности находят применение опытно-статистический и расчетно-аналитический методы определения припусков.

Таблица 1

### Припуски на диаметр под чистовое обтачивание наружных поверхностей (размеры в мм)

Диаметр Наружной поверхности	Длина детали			Допуск на диаметр
	до 500	св. 500 до 1000	св. 1000	
Св. 6 до 18	1,0	1,2	1,5	-0,4
“18 “ 50	1,5	1,5	2,0	-0,6
“50 “120	1,5	1,5	2,0	-0,8
“120 “260	2,0	2,0	3,0	-1,0
“260 “500	3,0	3,0	3,0	-1,2

Таблица 2

### Припуски на диаметр под шлифование (размеры в мм)

Диаметр вала	Характер обработки	Состояние заготовки	Длина вала					Допуск на диаметр
			до 100	св. 100 до 250	св. 250 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1200	
До 10	Центровое шлифование	Сырые	0,3	0,3	0,3	0,4	-	-0,1
		Закаливаемые	0,3	0,3	0,4	0,5	-	
	Бесцентровое шлифование	Сырые	0,2	0,2	0,3	0,4	-	
		Закаливаемые	0,3	0,3	0,4	0,5	-	
Св. 10 до 18	Центровое шлифование	Сырые	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	-0,12
		Закаливаемые	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	
	Бесцентровое шлифование	Сырые	0,3	0,3	0,3	0,4	-	
		Закаливаемые	0,3	0,4	0,4	0,5	-	
Св. 18 до 30	Центровое шлифование	Сырые	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	-0,14
		Закаливаемые	0,4	0,4	0,5	0,6	0,70,5	
	Бесцентровое шлифование	Сырые	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	
		Закаливаемые	0,4	0,4	0,4	0,5		

Св. 18 до 30	Центровое шлифование Бесцентровое шлифование	Сырые	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	-0,14
		Закаливаемые	0,4	0,4	0,5	0,6	0,70,5	
Св. 30 до 50	Центровое шлифование Бесцентровое шлифование	Сырые	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	-0,17
		Закаливаемые	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
Св. 50 до 80	Центровое шлифование Бесцентровое шлифование	Сырые	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	-0,2
		Закаливаемые	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Св. 80 до 120	Центровое шлифование Бесцентровое шлифование	Сырые	0,4	0,4	0,4	0,5	-	-0,23
		Закаливаемые	0,4	0,5	0,6	0,7	-	
Св. 120 до 180	Центровое шлифование Бесцентровое шлифование	Сырые	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	-0,26
		Закаливаемые	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	
Св. 180 до 260	Центровое шлифование	Сырые	0,5	0,5	0,5	0,6	-	-0,3
		Закаливаемые	0,5	0,6	0,7	0,8	-	

Таблица 3

**Припуски на чистовое подрезание торцов и уступов**  
(размеры в мм)

Диаметр детали	Общая длина детали					
	До 18	Св.18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	
До 30	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
Св. 30 до 50	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
Св. 50 до 120	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,2
Св. 120 до 260	0,7	0,7	1,0	1,0	1,2	1,4
Св. 260	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5
Допуск на длину	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8

**Припуски на диаметр под чистовое растачивание отверстий**  
(размеры в мм)

Номинальный диаметр отверстия		Припуски на диаметр при расчетной длине							Допуск на диаметр отверстия
более	до	до 25	более 25 до 63	более 63 до 100	более 100 до 160	более 160 до 250	более 250 до 400	более 400 до 630	
	10	1,0	1,1						+0,20
10	18	1,2	1,3	1,3	—	—	—	—	+0,24
18	30	1,3	1,3	1,4	1,4	—	—	—	+0,28
30	50	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	—	—	+0,34
50	80	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	—	+0,40
80	120	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,1	2,3	+0,46
120	180	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,2	2,5	+0,53
180	260	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	+0,60
260	360	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,9	+0,68
360	500	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	3,0	3,2	+0,76

**Опытно-статистический метод** широко применяется в промышленности. При этом методе общие и промежуточные припуски устанавливаются технологами по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов. К недостаткам этого метода надо отнести то, что припуски, выбранные по таблицам, устанавливаются без учета конкретных условий проектирования технологических процессов. Кроме того, величины опытно-статистических припусков во многих случаях завышены. Следовательно, в условиях крупносерийного и массового производства этот метод установления припусков без учета конкретных условий производства применять нецелесообразно.

Рекомендуемые промежуточные припуски для наиболее распространенных способов механической обработки приведены в табл. 1—7. Эти данные не следует рассматривать как предельные и обязательные. В конкретных производственных условиях они могут быть изменены.

Таблица 5

**Припуски на диаметр под зенкерование отверстий**  
(размеры в мм)

Номинальный диаметр отверстия	После сверления	После черного зенкерования или растачивания
От 15 до 20	1,5—2,0	0,5—1,0
Св. 20 , 30	2,0—2,5	1,0—1,5
. 30 . 50	2,5—3,0	1,5—2,0

Таблица 6

**Припуски на диаметр под развертывание после сверления, зенкерования или растачивания** (размеры в мм)

Припуск	Диаметр отверстия				
	12-18	18-30	30-50	50-75	75-100
Общий под черновое и чистовое развертывание .....	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
Под черновое развертывание....	0,10	0,14	0,18	0,22	0,30
Под чистовое развертывание ....	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10

Таблица 7

**Припуски и допуски под протягивание круглых отверстий**  
(размеры в мм)

Диаметр отверстия	Припуск на шлифование при длине отверстия					
	до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 150	св. 150 до 200	св. 200 до 300
До 10	0,07-0,10	0,10-0,12	-	-	-	-
Св. 10 до 18	0,12-0,15	0,12-0,15	0,15-0,18	-	-	-
Св. 18 до 30	0,12-0,15	0,15-0,18	0,18-0,22	0,20-0,25	0,22-0,27	-
Св. 30 до 50	0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	0,25-0,30	0,27-0,32	0,30-0,40
Св. 50 до 80	0,20-0,25	0,25-0,30	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40	0,35-0,45
Св. 80 до 120	0,25-0,30	0,25-0,30	0,28-0,33	0,30-0,35	0,35-0,40	0,40-0,50
Св. 120 до 180	0,25-0,30	0,30-0,35	0,33-0,38	0,33-0,38	0,40-0,45	0,45-0,55
Св. 180 до 260	0,30-0,35	0,30-0,35	0,40-0,45	0,40-0,45	0,45-0,50	0,5-0,6
Св. 260	0,30-0,35	0,35-0,40	0,40-0,45	0,40-0,45	0,50-0,55	0,5-0,6

В табл. 8 приведены примерные величины припусков на обработку при внутреннем шлифовании.

При шлифовании отверстий величина припуска на предварительную обработку составляет 60—70%, а на чистовую — 40—30%.

Припуск на тонкостенные и деформирующиеся при термической обработке детали следует увеличить против значений, рекомендуемых в табл. 8, умножив их на коэффициент 1,5—2. Чем больше диаметр и длина, тем меньше значение коэффициента.

**Расчетно-аналитический метод** определения припусков разработал доктор технических наук В. М. Кован.

По методу В. М. Кована величина промежуточного припуска должна быть точной, чтобы при удалении этого припуска устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих операциях, а также погрешности установки обрабатываемой детали, возникающие на выполняемой операции.

Величину минимального промежуточного припуска определяют следующие факторы:

1) высота неровностей  $R_{za}$ , полученная на смежной предшествующей операции обработки данной поверхности. Величина  $R_{za}$  зависит от способа обработки, режимов резания и условий выполнения предшествующей обработки. Так как шероховатость обработанной поверхности обычно колеблется в пределах двух-трех классов чистоты, то для расчета припусков на обработку должны быть взяты значения  $R_{za}$  по меньшему, т. е. более грубому классу чистоты;

2) состояние и глубина поверхностного слоя  $T_a$  (рис. 16), полученные на смежной предшествующей операции. На выполняемой операции этот слой подлежит полному или частичному удалению с заготовки.

На схеме поверхностного слоя детали (рис. 16) показаны: А — удаляемая часть поверхностного слоя, которая состоит из высоты неровностей  $R_{za}$  и глубины дефектного поверхностного слоя  $T_a$ ; В — неудаляемая часть поверхностного слоя; С — нормальная структура металла.

При расчете величины припуска рекомендуются следующие значения  $(R_{za}+T_a)$ : для проката—0,3 мм;

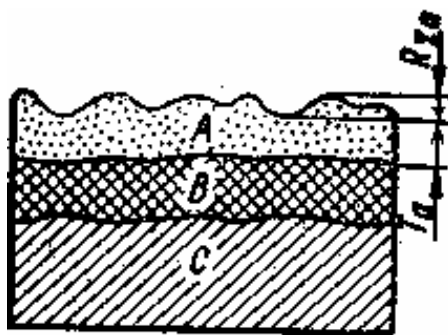


Рис. 16. Поверхностный слой заготовки

для поковок, изготавливаемых свободной ковкой, — от 2,0 до 5,0 мм, в зависимости от поперечного размера заготовки; для отливок 3-го класса точности — от 0,8 до 2,0 мм, в зависимости от размеров литой заготовки;

3) пространственное отклонение  $Q_a$  в расположении обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки. К пространственным отклонениям относятся кривизна осей, коробление поверхностей, увод и непараллельность осей, перпендикулярность осей и поверхностей, отклонения от соосности ступеней валов и отверстий, эксцентricность внешних поверхностей относительно отверстий и т. п. Все эти отклонения не связаны с допуском на размер элементарной поверхности и имеют самостоятельное значение. Они учитываются в минимальном припуске в виде слагаемого  $Q_a$ ;

4) погрешность установки  $\epsilon_B$ , возникающая на выполняемой операции. При погрешности установки обрабатываемые поверхности заготовок партии не будут занимать одинакового положения на станке. Следовательно, получаемые смещения обрабатываемой поверхности должны быть компенсированы дополнительной составляющей операционного припуска.

Погрешности установки  $\epsilon_B$  при закреплении заготовки в трехкулачковом патроне предварительно обработанной поверхности составляют от 0,1 до 0,25 мм, в зависимости от диаметра закрепляемой заготовки.

Погрешность выверки по обработанной поверхности на токарных станках колеблется в пределах 0,03 — 0,5 мм, в зависимости от способа закрепления.

Следовательно, общая величина минимального промежуточного (операционного) припуска  $Z_{B \min}$  определяется суммированием величин,  $R_{za}$ ,  $T_a$ ,  $Q_a$  и  $\epsilon_B$

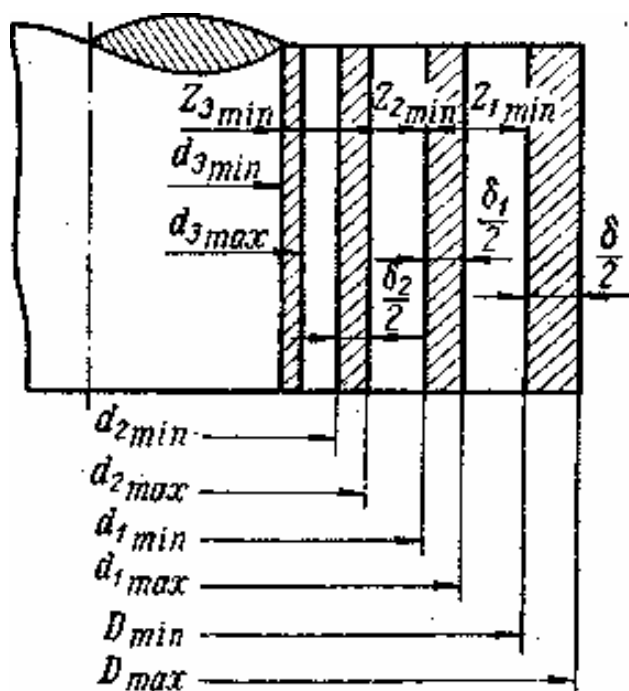


Рис.17 Схемы полей промежуточных припусков и предельных размеров заготовки для черновых и чистовых операций

Пространственные отклонения  $Q_a$  и погрешности установки представляют собой векторы. Их суммирование должно выполняться по правилу сложения векторов.

При обработке плоскостей векторная сумма определяется арифметической



суммой значений векторов:

$$|\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_e| = (\rho_a + \varepsilon_e)$$

$\rho_a$  и  $\varepsilon_e$  любое угловое положение, поэтому наиболее вероятное суммарное значение этих векторов определяется их сложением по правилу квадратного корня:

$$|\bar{\rho}_a + \bar{\varepsilon}_e| = \sqrt{\rho_a + \varepsilon_e}$$

Для определения минимального промежуточного (операционного) припуска на обработку можно рекомендовать формулы, предложенные проф. В. М. Кованом.

Симметричный припуск на диаметр наружных и внутренних поверхностей тел вращения составляет:

$$2Z_{B \min} = 2[(R_{Za} + T_a) + \sqrt{\rho_a + \varepsilon_e}];$$

симметричный припуск на обе противолежащие параллельные плоские поверхности равен:

$$2Z_{B \min} = 2[(R_{Za} + T_a) + (\rho_a + \varepsilon_e)]$$

асимметричный припуск на одну из противолежащих параллельных плоских поверхностей составляет:

$$2Z_{B \min} = [(R_{Za} + T_a) + (\rho_a + \varepsilon_e)]$$

**Промежуточные и исходные размеры заготовки.** Определив промежуточные припуски, можно легко установить предельные размеры обрабатываемой детали для всех операций — от готовой детали до исходной заготовки.

Схема расположения промежуточных (операционных) припусков и допусков приведена на рис. 17. Обрабатывается наружная цилиндрическая поверхность за три операции: токарная черновая, токарная чистовая и шлифовальная.

При построении схемы исходными являются заданные рабочим чертежом предельные размеры детали  $d_{3 \min}$   $d_{3 \max}$ , которые получаются после шлифования.

## Глава 5

# ПРИНЦИПЫ БАЗИРОВАНИЯ И УСТАНОВКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ

### 15. БАЗЫ

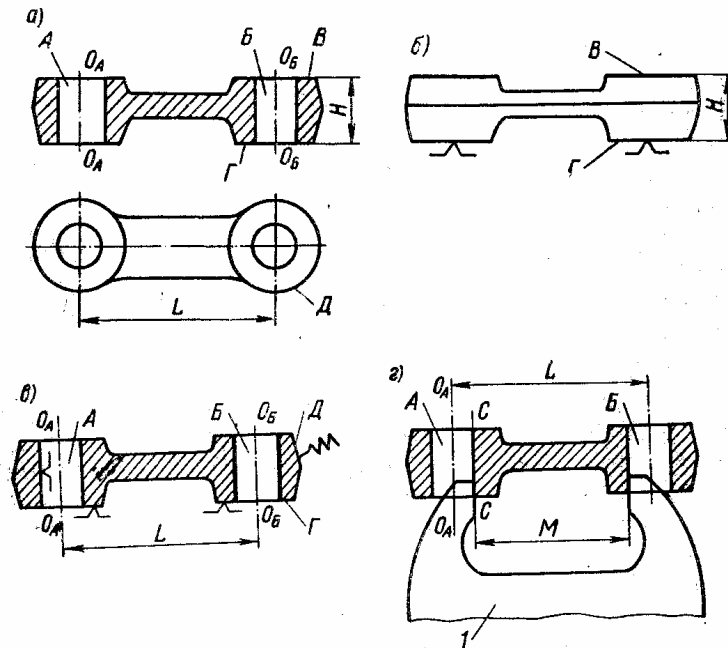
Базами называют поверхности, линии или точки детали, по отношению к которым рассматривают положение других поверхностей, линий или точек.

Базы подразделяют на конструкторские, технологические и сборочные.

Конструкторской базой называют поверхность, линию или точку, относительно которой на чертеже детали координируется положение другой поверхности, линии или точки детали.

Так, например, на чертеже серьги (рис. 18, а) поверхность  $\Gamma$  является конструкторской базой поверхности  $B$ .

С другой стороны, поверхность  $B$  является конструкторской базой поверхности  $\Gamma$ . Точно так же ось  $O_A O_A$  отверстия  $A$  является конструкторской базой отверстия  $B$ , и наоборот, ось  $O_B O_B$  служит конструкторской базой отверстия  $A$ .



*a* - чертеж; *в* — операционный эскиз обработки плоскости  $B$ ;  
*в* — операционный эскиз обработки Отверстия  $B$ ; *z* — схема измерения расстояния до оси обработанного отверстия  $B$ .

Рис. 18. Серьга

Размеры, связывающие рассматриваемую поверхность, линию или точку с ее конструкторскими базами, называют конструктивными.

Технологические базы используются в процессе механической обработки детали. Технологические базы подразделяются на исходные, установочные и измерительные.

Исходная база — это поверхность, линия или точка, относительно которой на операционном эскизе координируется положение обрабатываемой поверхности. Размер, которым координировано это положение, называется исходным размером.

На рис. 18,6 показан операционный эскиз обработки поверхности  $B$  серьги. Выдерживается исходный размер  $Я$ , заданный от плоскости  $\Gamma$ , являющейся исходной базой обрабатываемой поверхности  $B$ . При обработке отверстия  $B$  (рис. 18, в) выдерживается исходный размер  $l$ , заданный от оси  $0_A 0_A$  обработанного отверстия  $A$ . В этом случае ось  $0_A 0_A$  служит исходной базой.

Установочными базами называют такие поверхности Детали (только поверхности, не линии и не точки), которыми деталь устанавливается для обработки в определенном положении относительно станка (или приспособления) и режущего инструмента.

Из этого определения вытекает, что установочной базой следует считать каждую поверхность детали, которой она соприкасается с установочными поверхностями приспособления. Именно благодаря контакту с установочными поверхностями приспособления деталь и получает определенность положения относительно станка (приспособления) и режущего инструмента. На операционном эскизе для каждой установочной базы изображаются применяемые для ее установки установочные элементы, обозначаемые соответствующими значками. Общепринятой системы обозначений установочных элементов пока нет. Наиболее часто применяемые обозначения приведены в табл. 9.

Таблица 9

### Обозначения установочных элементов

Тип установочного элемента	Условные обозначения	
	вид сбоку	вид в плане
Основная опора постоянная		
Основная опора регулируемая		
Основная опора самоустанавливающаяся (сблокированная)		
Вспомогательная опора самоустанавливающаяся или подводимая		
Опора, совмещенная с зажимом (трехлачковые патроны, цанговые, гидропластовые и другие самоцентрирующие устройства)		
Центра с хомутиком		
Люнет неподвижный		
Люнет подвижный		

Принятые обозначения на операционных эскизах проставляются так, как указано на рис. 18, б и в.

Серьга, при обработке плоскости  $B$  (см. рис. 18,б) устанавливается одной базой — плоскостью  $\Gamma$ . Подобная установка может быть осуществлена на магнитную плиту на плоскошлифовальном станке. Плоскость магнитной плиты, на которую ставится деталь, и выполняет роль постоянной опоры.

При обработке отверстия  $B$  (см. рис. 18, в) серьга устанавливается тремя установочными базами — плоскостью  $\Gamma$ , отверстием  $A$  и наружной поверхностью  $D$ , при этом базы  $\Lambda$  и  $\Gamma$  устанавливаются на постоянные опоры, а база  $D$  — на регулируемую. Рассмотренные примеры (см. рис. 18, б и в) показывают, что деталь для обработки может устанавливаться одной базой (см. рис. 18,б) или группой баз — двумя либо тремя базами (см. рис. 18,в). Чаще установка производится группой установочных баз.

В качестве установочных баз могут быть выбраны как обработанные, так и необработанные поверхности детали. Если приняты необработанные поверхности, то такие базы называют черновыми базами. В противоположность им обработанные поверхности, принимаемые за установочные базы, принято считать чистовыми базам и.

Черновые базы должны быть по возможности ровными и гладкими. Пользоваться ими можно лишь на начальных операциях обработки.

Установочные базы подразделяются также на основные и вспомогательные.

Основной установочной базой называют поверхность, которая служит для установки детали при обработке и сопрягается с другой деталью, совместно работающей в собранной машине, или оказывает влияние на действие данной детали в машине. В качестве примера можно привести зубчатое колесо. При нарезании зуба отверстие колеса является основной установочной базой, так как поверхность отверстия соприкасается с валом, и на работу колеса оказывает влияние взаимное расположение оси отверстия и оси основной окружности зубчатого венца. Вспомогательной установочной базой называется поверхность детали, которая служит только для ее установки при обработке. Примером вспомогательной базы являются центровые отверстия, используемые для установки деталей типа валов при их обработке.

Измерительная база — это поверхность, линия или точка поверхности, относительно которой измерением проверяют положение обработанной поверхности, т. е. проверяют исходный размер.

Обычно измерительная база совпадает с исходной. Так, на операции обработки плоскости  $B$  серьги (см. рис. 18,б) измерение размера  $H$  до обработанной плоскости  $B$  производится от плоскости  $\Gamma$ , которая является одновременно и исходной и измерительной базой.

Иначе обстоит дело на операции обработки отверстия  $B$  (см. рис. 18,в). Здесь исходной базой служит ось  $O_A O_A$  отверстия  $A$  (от нее задан исходный размер  $L$  до оси  $O_B O_B$  отверстия  $B$ ), но она не является измерительной базой, так как от нее затруднительно измерением проверить размер  $L$ . В подобных случаях размер  $L$  проверяется косвенно путем измерения скобой 1 размера  $M$  (см. рис. 18, г) между ближайшими образующими отверстий  $\Lambda$  и  $B$ . В данном примере измерительной

базой служит линия — образующая  $CC$  отверстия  $A$ , причем измерительная база (линия  $CC$ ) не совпадает с исходной базой (осью  $O_A O_A$  отверстия  $A$ ).

Сборочная база — это поверхность (линия или точка поверхности), которая определяет положение данной детали относительно других деталей в собранном узле или машине.

## 16. ВЫБОР БАЗ. ПРИНЦИПЫ ПОСТОЯНСТВА БАЗЫ И СОВМЕЩЕНИЯ БАЗ

Конструкторские базы назначает конструктор машины при простановке размеров на рабочем чертеже детали. На выбор той или иной схемы простановки размеров на чертеже влияют как конструктивные, так и технологические требования.

Схема простановки размеров предопределяет в значительной степени последовательность обработки и выбор установочных баз, тип режущего инструмента, конструкцию приспособлений и возможность выполнения операции на настроенном станке. А все это влияет на надежность обеспечения заданной точности и производительность обработки.

Часто конструктору предоставляется возможность выбирать ту или иную схему простановки размеров. Обычно схемы бывают неравноценны в технологическом отношении. Поэтому конструктор прежде всего должен заботиться о технологичности конструкции, т. е. о том, чтобы на обработку детали затрачивалось меньше времени и выполнялась бы она в простых приспособлениях, а заданная точность обеспечивалась просто и надежно.

При разработке технологического процесса технолог выбирает исходные, установочные и измерительные базы для каждой операции. Выбор технологических баз — один из ответственных моментов в разработке технологического процесса, так как он предопределяет точность обработки и конструкцию приспособления. Неправильный выбор баз часто приводит к усложнению конструкции приспособления, появлению брака и увеличению вспомогательного времени на установку и снятие детали.

Как правило, технолог определяет начало обработки детали с той поверхности, которая будет служить установочной базой для дальнейших операций. На первой операции в качестве установочной базы обычно принимают необработанную поверхность — черновую базу.

Однако нельзя принимать каждую черновую поверхность детали в качестве черновой базы, а можно только ту, которая в дальнейшем не подлежит обработке и является достаточно чистой, гладкой и ровной. Если нет поверхности, удовлетворяющей указанным требованиям, то у заготовки предусматривают специальные установочные бобышки, которые при первой операции служат установочной базой.

В зависимости от конфигурации и сложности детали обработку ее на последующих операциях ведут с использованием на всех операциях одной и той же установочной базы или различных баз.

Если все операции обработки детали выполняются при одной и той же базе, то

говорят, что используется принцип постоянства базы.

Наибольший эффект принципа постоянства базы достигается при обработке деталей с концентрично расположенными поверхностями. Например, при обработке валов на всех операциях используется одна и та же база — центровые отверстия. Для получения наибольшей точности стремятся по возможности провести весь процесс обработки от одной базы и с одной установки, устраняя тем самым возможные смещения детали.

Принцип постоянства базы принимается иногда и при обработке корпусных и других деталей. Обычно это имеет место на автоматических линиях, где на каждой позиции деталь устанавливается при одной и той же базе (чаще плоскостью и двумя отверстиями). Использование здесь принципа постоянства базы позволяет унифицировать приспособления, получить удобную и надёжную установку детали. Необходимо иметь в виду, что для обработки многих деталей технологу не всегда удастся применить принцип постоянства базы. В лучшем случае ему представляется возможность одни и те же установочные базы использовать на нескольких операциях.

При выборе как установочных, так и исходных баз технолог должен руководствоваться принципом совмещения баз.

Принцип совмещения баз состоит в том, чтобы в качестве технологических баз (исходной, установочной и измерительной) использовать конструкторскую базу.

Технологу довольно часто представляется возможность совместить все четыре базы (конструкторскую, исходную, установочную и измерительную), т. е. построить операцию, полностью отвечающую требованиям принципа совмещения баз.

Вместе с тем встречаются случаи, когда технолог вынужден по тем или иным причинам сделать отступление от принципа совмещения баз.

Наиболее характерны два отступления:

- 1) исходная база не совмещена с конструкторской;
- 2) установочная база не совмещена с исходной.

Допуская несовмещение баз (любое из двух указанных выше), технолог вносит погрешность, вызываемую только несовмещением баз.

Такая погрешность не связана с процессами обработки, установки или контроля, а зависит только от выбора баз. Этим погрешность от несовмещения баз принципиально отличается от других погрешностей. Рассмотрим более подробно природу ее возникновения и определим величину.

## 17. НЕСОВМЕЩЕНИЕ ИСХОДНОЙ БАЗЫ С КОНСТРУКТОРСКОЙ

На рис. 19 приведен пример, когда технолог при разработке технологического процесса допустил несовмещение исходной базы с конструкторской. На чертеже детали (рис. 19, а) положение поверхности  $B$  задано размером  $h$  от конструкторской базы  $B$ , а на операционном эскизе (рис. 19, б) — размером  $T$  от исходной базы  $A$ .

Исходный размер  $T$  не совпадает с конструкционным размером. Такого размера  $T$  на чертеже нет. Он введен технологом по соображениям рациональности производства.

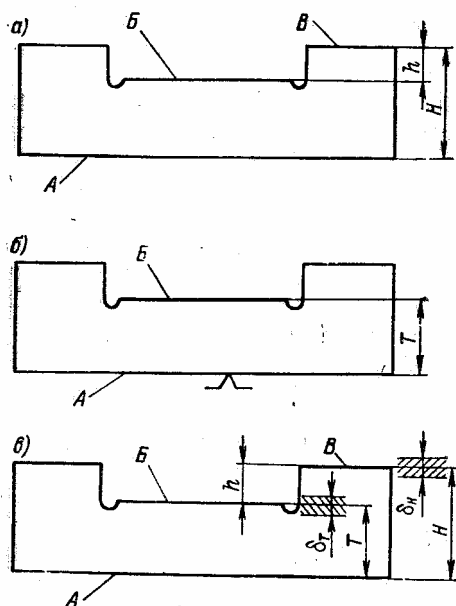


Рис. 19. Обработка детали при несовмещении исходной базы с конструкторской:

$a$  — чертеж детали;  $б$  — операционный эскиз;  $в$  - схема расположения погрешностей.

Размеры, вводимые технологом дополнительно к конструкционным размерам, называют технологическими (производственными) размерами.

Во всех случаях, когда допускается несовмещение исходной базы с конструкторской, технолог вынужден вводить технологический размер.

Правильность выдерживания технологического размера  $T$  (см. рис. 19, б) проверяет и технолог, и контролер непосредственно после выполнения операции, а при сдаче готовой продукции проверяется конструкционный размер  $h$  (см. рис. 19,а).

Конструкционный размер  $h$  получается как следствие выдерживания размеров  $A$  (см. рис. 19, а) и  $T$  (см. рис. 19,б), поэтому погрешность размера  $h$  будет складываться из погрешностей размеров  $H$  и  $T$  (см. рис. 19,в), т. е.

$$\delta_h = \delta_H + \delta_T, \quad (1)$$

где  $\delta_h$  — погрешность размера  $h$ ;

$\delta_H$  — погрешность размера  $H$ ;

$\delta_T$  — погрешность размера  $T$ .

Таким образом, из-за несовмещения исходной базы с конструкторской на точность конструкционного размера  $h$  кроме погрешности выполнения технологического размера  $T$  будет влиять еще и погрешность размера  $A$  между исходной и конструкторской базами. Погрешность  $\delta_h$  размера  $h$  и будет в данном

случае (см. рис. 19) погрешностью, связанной с несовмещением исходной базы с конструкторской. Эта погрешность связана только с выбором баз. Максимальное значение этой погрешности равно допуску на размер  $H$ .

Заменяя в уравнении (1) погрешности допусками на те же размеры, получим:

$$a_h = a_H + a_T.$$

Решая это уравнение относительно  $a_m$ , будем иметь:

$$a_T = a_h - a_H. \quad (2)$$

Так как допуск  $a_m$  на технологический размер  $T$  равен разности допусков на конструкционные размеры  $h$  и  $H$ , то технологический размер  $T$  имеет поле допуска уже, чем обеспечиваемый им конструкционный размер  $h$ .

Иногда допуск на технологический размер, определяемый по формуле (2), получается настолько малым, что он не может быть обеспечен при обработке. Поэтому не всегда можно пользоваться введением технологического размера.

Это должен знать и всегда помнить технолог.

Рассмотрим несколько примеров, показывающих возможность введения технологического размера.

$$H = 15X_3 = 15_{-0,015}^{-0,055} \text{ мм};$$

Пример 1. Деталь (см. рис. 19,а) имеет размеры:

$$h = 3A_5 = 3^{+0,12} \text{ мм}.$$

Отсюда допуски на размеры  $H$  и  $h$  равны:  $a_H = 0,040 \text{ мм}$  и  $a_h = 0,12 \text{ мм}$ .

Введенный технологом на операции (см. рис. 19, б) технологический размер  $T$  по формуле (2) может иметь допуск:

$$a_T = a_h - a_H = 0,12 - 0,040 = 0,080 \text{ мм}.$$

Так как допуск  $a_T = 0,08 \text{ мм}$  (для размера  $T$ , находящегося в пределах 10—18 мм) может быть легко обеспечен, то технолог может вводить технологический размер.

Пример 2. Деталь (см. рис. 19,а) имеет размеры:

$$H = 15C_4 = 15_{0,012} \text{ мм};$$

$$h = 3A_5 = 3^{+0,12} \text{ мм}.$$

Отсюда допуски на размер  $H$  и  $h$  равны:  $a_H = 0,012 \text{ мм}$  и  $a_h = 0,12 \text{ мм}$ .

Введенный технологом на операции (см. рис. 19,б) технологический размер  $T$  по формуле (2) может иметь допуск:

$$a_T = a_h - a_H = 0,12 - 0,012 = 0.$$

Так как для детали с указанными размерами допуск на технологический размер  $T$  получается равным нулю, то на рассматриваемой операции (см. рис. 19,б) технологический размер вводить нельзя — он не может быть обеспечен при обработке.



Пример 3. Деталь (см. рис. 19,а) имеет размеры:

$$H = 15C_5 = 15 \cdot 0,24 \text{ мм};$$

$$A = 3A_4 = 3^{+0,060} \text{ мм}.$$

Отсюда допуски на размеры  $H$  и  $h$  равны:  $a_H = 0,24 \text{ мм}$  и  $a_h = 0,060 \text{ мм}$ .

Введенный технологом на операции (см. рис. 19, б) технологический размер  $T$  может иметь по формуле (2) допуск:

$$a_T = a_h - a = 0,060 - 0,24 = -0,18 \text{ мм}.$$

Получается, что допуск  $a_m$  на технологический размер  $T$  имеет отрицательное значение. Следовательно, для детали с указанными размерами на рассматриваемой операции вводить технологический размер нельзя.

Технолог, вводя технологический размер, обязан не только убедиться в том, что допуск, приходящийся на технологический размер, может быть обеспечен, но и должен определить предельно допустимые значения технологического размера.

Технологический размер должен быть назначен в таких пределах, Рис. 20. Схема для определения чтобы после обработки технологического размера  $T$  детали по размерам  $A$  и  $B$  (см. рис. 19) размер  $L$  оказался в заданных пределах.

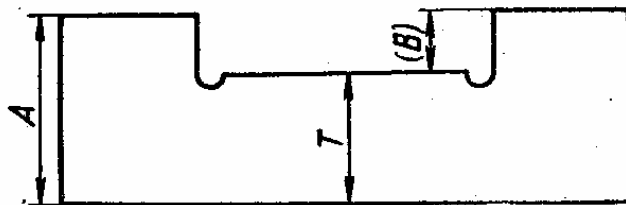


Рис. 20. Схема для определения технологического размера  $T$ .

Для определения предельно допустимых значений технологического размера  $T$  воспользуемся расчетной схемой, показанной на рис. 20, где обозначено:

$A$  — конструкционный размер, выполненный в одной из предыдущих операций;

$T$  — технологический размер, выполняемый в данной операции;

$B$  — результирующий конструкционный размер, получаемый в результате выполнения размеров  $A$  и  $T$ .

Из схемы видно, что

$$B = A - T$$

или

$$B_{\max} = A_{\max} - T_{\min} \quad (3)$$

$$B_{\min} = A_{\min} - T_{\max}$$

Из уравнений (3) можно определить те предельно допустимые значения технологического размера  $T$ , при которых конструкционный размер  $B$  будет выдержан в заданных пределах, а именно:

$$T_{\min} = B_{\max} - A_{\max}$$

$$T_{\max} = B_{\min} - A_{\min} \quad (4)$$

Эти зависимости (4) и служат для определения предельно допустимых значений

технологического размера.

## 18. НЕСОВМЕЩЕНИЕ УСТАНОВОЧНОЙ БАЗЫ С ИСХОДНОЙ

При установке детали для обработки иногда в качестве установочной базы принимают не исходную базу. Например, если в вилке (рис. 21,а), установленной

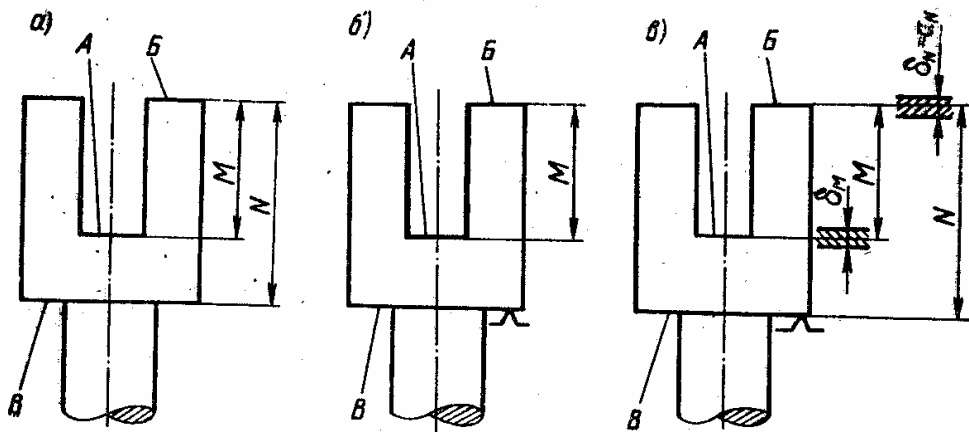


Рис. 21. Обработка детали при несовмещении установочной базы с исходной:

а — чертеж детали: б — операционный эскиз; в — схема расположения погрешностей.

в приспособление плоскостью  $B$ , обрабатывать плоскость  $A$  по размеру  $M$  (рис. 21,б), то установочная база (плоскость  $B$ ) не будет совпадать с исходной плоскостью  $B$ .

Несмотря на то что в рассматриваемом примере (см. рис. 21) исходная база совмещена с конструкторской [(плоскость  $B$ ), принятая схема установки вилки приводит к возникновению погрешности от не совмещения установочной базы с исходной. Эта погрешность возникает только при обработке деталей на станке, настроенном на заданный размер. Возникает она потому, что режущий инструмент устанавливается на постоянном расстоянии от приспособления (от установочной базы), а положение исходной базы (плоскости  $B$ ) колеблется относительно приспособления (установочной базы) и определяется фактическим размером  $N$  у обрабатываемой детали. А так как у деталей размер  $N$  колеблется в пределах допуска  $a_N$ , то в выдерживаемом на операции размере возникнет погрешность  $\delta_N$ , максимальное значение которой равно  $\delta_N$  (рис. 21, в). Эта погрешность  $\delta_N$  связана только с выбором баз, при котором допущено несовмещение установочной базы с исходной.

Кроме этой погрешности  $\delta_N$  возникнет еще погрешность  $\delta_M$  (см. рис. 21, б) непосредственно при обработке плоскости  $A$ . Таким образом, суммарная

$$(\delta_M)_{\Sigma} = \delta_N + \delta_M, \quad (5)$$

погрешность в размере  $M$  будет выражаться суммой двух погрешностей:

где  $(\delta_M)_2$  — суммарная погрешность в размере  $M$ ;

$\delta_N$  — погрешность от несовмещения баз (установочной и исходной), равная допуску  $a_N$  на размер  $N$  между базами;

$\delta_M$  — погрешность, возникающая при обработке плоскости  $A$ , без учета погрешности от несовмещения баз.

Чтобы при обработке плоскости  $A$  детали получались годными, суммарная погрешность  $(\delta_M)_B$  не должна превышать допуска  $a_M$  на размер  $M$ , т. е.  $(\delta_M)_B = a_M$

Подставив в формулу (5) вместо погрешностей  $\delta_N$  и  $(\delta_M)_B$  соответствующие

$$a_M = a_N + \delta_M,$$

допуски, получим:

откуда

$$\delta_M = a_M - a_N.$$

Формула (6) позволяет определять величину погрешности  $\delta_M$ , выше которой нельзя допускать погрешность при обработке плоскости  $A$ .

Из формулы (6) видно, что погрешность  $\delta_M$  меньше чертежного допуска  $a_M$  (на выдерживаемый размер  $M$ ) на величину допуска  $a_N$  (между установочной и исходной базами). А так как обработку требуется вести с меньшими погрешностями, чем оговорено чертежными допусками, то обработка детали удорожается.

Более того, если допуск  $a_N$  равен или больше  $a_M$ , то вообще нельзя допускать несовмещения установочной базы с исходной, так как погрешность  $\delta_M$  согласно формуле (6) оказывается равной нулю или получает отрицательное значение.

Поэтому во всех случаях, когда предполагается вести обработку партии деталей на настроенном станке при несовмещении установочной базы с исходной, необходимо по формуле (6) определить величину допустимой погрешности обработки  $\delta_M$  и оценить, можно ли произвести обработку в пределах вычисленной погрешности  $\delta_M$ .

## 19. СПОСОБЫ УСТАНОВКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ

Установка детали для обработки может быть осуществлена различными способами.

Установка детали на столе станка по разметке. Такой способ установки требует выполнения разметки, которая представляет собой нанесение на заготовку осей и линий, определяющих положение обрабатываемых поверхностей. Пользуясь разметкой, производят установку детали на станке. Установка по разметке не обеспечивает высокой точности обработки.

Поэтому этот способ применяют при обработке крупных отливок сложной формы и крупных поковок в единичном и мелкосерийном производстве.

Установка детали с выверкой непосредственно на столе станка или в универсальном

приспособлении. Этот способ требует много времени, и его применяют в единичном и мелкосерийном производстве, когда экономически нецелесообразно изготавливать специальное приспособление вследствие малой производственной программы.

Установка детали в специальном приспособлении. В специальном приспособлении установка детали в требуемое положение производится без выверки благодаря наличию в приспособлении соответствующих установочных элементов, которые не только придают обрабатываемой детали требуемое положение, но и не позволяют ей изменять это положение в процессе выполнения операции.

Для удобства описания получаемой при установке ориентации детали относительно приспособления будем пользоваться системой трех взаимно-перпендикулярных осей координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (рис. 22), которую на рисунках будем изображать применительно к главному виду приспособления (схемы установки детали).

Неизменность положения детали в приспособлении достигается не только за счет установочных элементов.

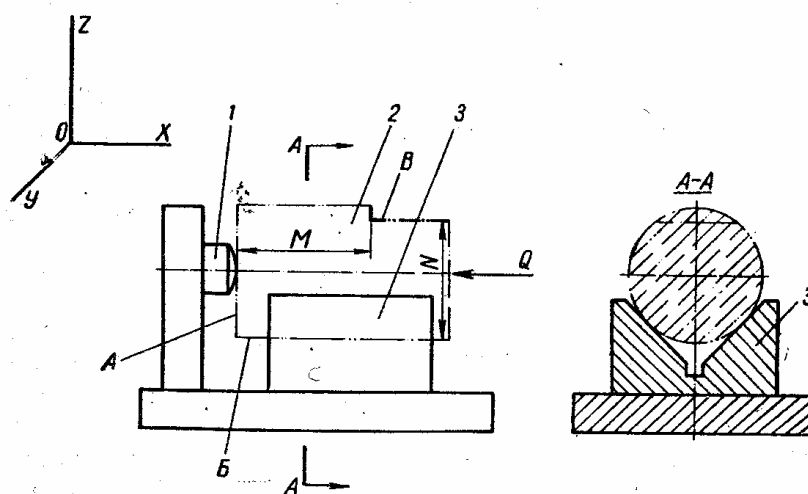


Рис. 22. Схема установки и закрепления детали в приспособлении.

Для этого используются еще и зажимные устройства. Они прижимают деталь к установочному элементу, обеспечивая между ними постоянный контакт. Схематично это показано на рис. 22. Обрабатываемая деталь 2 устанавливается в приспособление двумя установочными базами: цилиндрической поверхностью на призму 3 и торцом на опору 1. Положение детали в приспособлении в направлении оси  $X$  определяется опорой 1, которая лишает деталь возможности перемещаться по оси  $X$ .

С помощью зажимного устройства (не показанного на рисунке) деталь также можно прижать к опоре 1 с усилием  $Q$ . Будучи закрепленной, она не имеет возможности перемещаться по оси  $X$  в обе стороны: в одну сторону, опорой 1, а в противоположную — зажимным устройством.

Несмотря на то что при проектировании приспособления вопросы установки и закрепления детали решаются одновременно и с учетом взаимной связи, в методическом отношении удобнее и допустимо рассматривать их раздельно. Поэтому в дальнейшем изложении установка детали будет рассматриваться изолированно от закрепления.

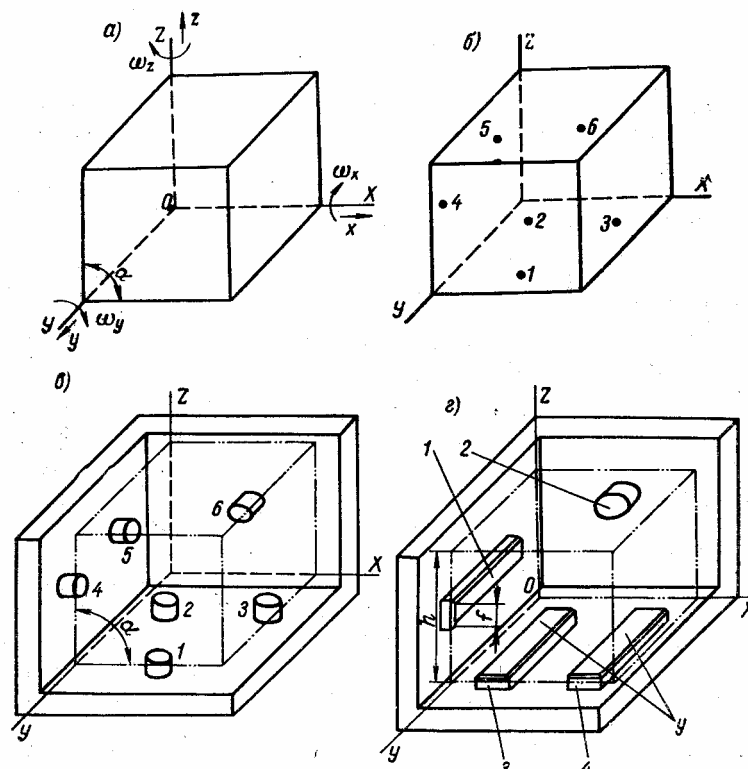


Рис. 23. Эскиз к правилу шести точек.

Любое твердое тело (в том числе и обрабатываемая деталь) имеет шесть степеней свободы: перемещение в направлении трех координатных осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и вращение относительно тех же осей. Это положение иллюстрируется на рис. 23, а, где стрелками  $x$ ,  $y$  и  $z$  показано возможное перемещение тела по трем координатным осям, а стрелками  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  и  $\omega_z$  — вращение тела относительно тех же осей. Чтобы придать детали при установке в приспособление вполне определенное положение, необходимо лишить ее всех шести степеней свободы. Осуществить это можно, расставив соответствующим образом опорные точки, которые препятствовали бы перемещению и вращению детали.

Для лишения детали любой одной степени свободы необходима одна опорная точка. Например, для ограничения перемещения детали 2 по оси  $X$  (см. рис. 22) достаточно одной опорной точки, обеспечиваемой опорой 1 со сферической головкой.

Чтобы лишить деталь всех шести степеней свободы, необходимо шесть опорных точек. Иллюстрация этого положения дана на рис. 23.

Расположение опорных точек относительно системы координат выбирается сообразно с конфигурацией детали и тем положением, которое требуется ей придать в приспособлении.

**Правило шести точек.** На основании сказанного и сформулировано следующее правило, называемое правилом шести точек. Для того чтобы детали придать вполне определенное положение в приспособлении, необходимо и достаточно иметь шесть неподвижных опорных точек, лишаящих деталь всех шести степеней свободы.

Опорные точки материализуются различными конструкциями установочных элементов. В простейшем случае опорная точка обеспечивается опорой со сферической головкой, контактирующей с деталью одной точкой (см. рис. 22). Схематично установка детали (рис. 23, а) с использованием опор со сферической головкой приведена на рис. 23, в. Опоры размещены относительно детали и системы координат так же, как и опорные точки на рис. 23, б. Здесь группа из трех опор 1, 2 и 3, расположенных в плоскости  $XOY$ , выполняет три функции: ограничивает перемещение детали по оси  $Z$  и вращение относительно осей  $X$  и  $Y$ . Группа из двух опор 4 и 5 выполняет две функции: ограничивает перемещение по оси  $X$  и вращение относительно оси  $Z$ . Опора 6 ограничивает перемещение по оси  $Y$ .

В большинстве случаев установочный элемент не такой уж простой по конструкции, как опора со сферической головкой, и порой бывает трудно определить, сколько опорных точек заменяет тот или иной установочный элемент. Например, если ту же деталь (см. рис. 23, а) установить с помощью опорных пластин 1, 3 и 4 (рис. 23, з), то для обнаружения шести опорных точек, указанных в правиле, потребуются некоторые дополнительные объяснения.

При изготовлении приспособления добиваются, чтобы установочные поверхности  $У$  (см. рис. 23, з) опорных пластин 3 и 4 лежали в одной плоскости. Устанавливая на них деталь, полагают, что ее обработанная плоскость будет соприкасаться с установочными поверхностями  $У$  обеих пластин 3 и 4. А так как положение любой плоскости определяется тремя точками, то считают, что опорные пластины 3 и 4, устанавливая плоскую установочную базу детали в определенное положение, заменяют собой три опорные точки. Следовательно, две опорные пластины 3 и 4 выполняют те же функции в отношении лишения детали степеней свободы, что и группа опор 1, 2 и 3 (см. рис. 23, б).

Опорная пластина 1 (см. рис. 23, г) ориентирует лишь одну линию детали, расположенную в плоскости базы. Это объясняется следующим. Во-первых, вследствие погрешности угла  $\alpha$  у детали (см. рис. 23, а) последняя будет соприкасаться с пластиной 1 только по линии. Во-вторых, часто деталь имеет большую ширину  $h$ , и тогда ширина  $f$  пластины в сравнении с величиной  $h$  детали представляется узкой полоской, которую можно принять за линию. А так как положение любой линии определяется двумя точками, то считают, что опорная пластина 1, ориентирующая в приспособлении лишь одну линию детали, заменяет две опорные точки. Опорная пластина 1 выполняет, следовательно, те же функции, что и группа опор 4 и 5 (см. рис. 23, в). Опора 2 выполняет роль шестой опорной точки.

Рассмотрим еще один пример.

На рис. 24, а показана установка детали типа рычага на шесть опор со сферической головкой, из которых четыре используются для установки цилиндрической поверхности детали, при этом группа из двух опор 1 и 2 выполняет две функции: лишает деталь возможности перемещаться по оси  $Z$  и вращаться относительно оси  $X$ . Вторая группа опор 3 и 4 выполняет тоже две функции — ограничивает перемещение детали по оси  $X$  и вращение относительно  $Z$ . Опора 5 препятствует вращению относительно оси  $Y$ , а опора 6 — перемещению по оси  $Y$ .

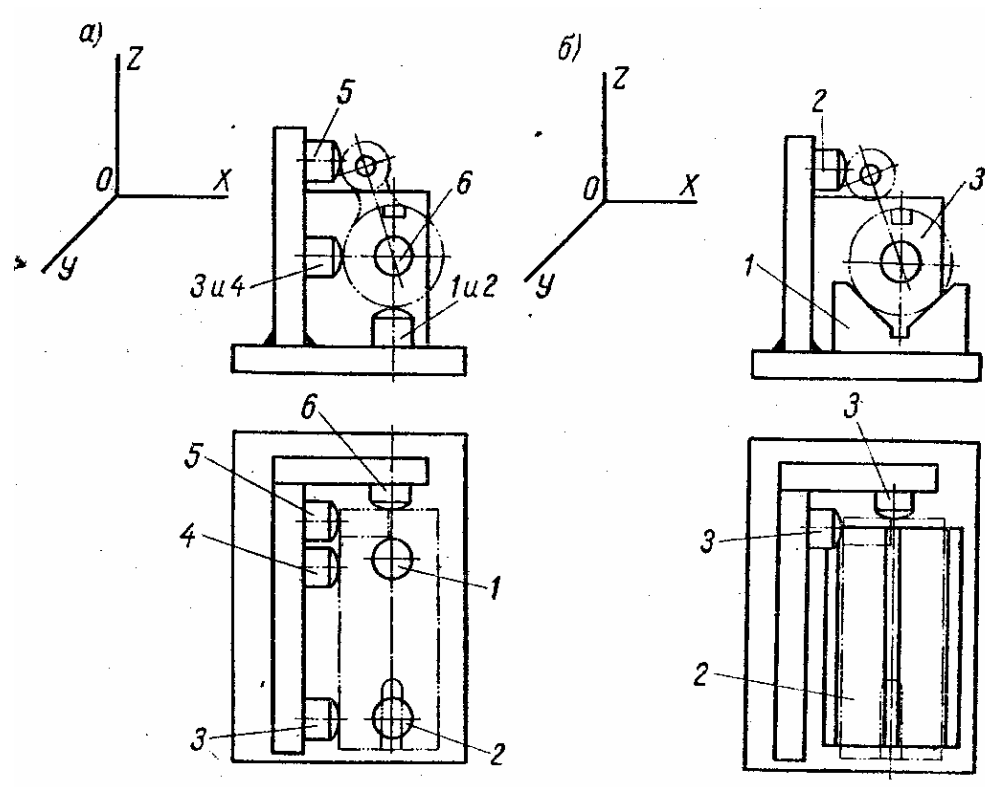


Рис. 24. Установка валика по правилу шести точек

Данную деталь можно установить другим методом. Цилиндрическую поверхность детали устанавливаются не на четыре штыря, а на призму 1 (рис. 24, б). В данном случае призма будет выполнять те же функции по лишению детали степеней свободы, что и группа из четырех опор 1, 2, 3 и 4 (см. рис. 24,а). Деталь, установленная цилиндрической поверхностью на призму, контактирует с ней двумя образующими, двумя линиями. Следовательно, призма, устанавливая две линии или четыре точки, принадлежащие цилиндрической поверхности детали, материализует четыре опорные точки и лишает деталь четырех степеней свободы: препятствует перемещению по осям  $X$  и  $Z$  и вращению относительно  $Z$  и  $X$ . Назначение опор 2 и 3 (см. рис. 24,б) такое же, как и опор 5 и 6 (см. рис. 24,а).

Возможны ли отступления от правила шести точек, т.е. можно ли на практике применять для установки детали больше или меньше шести опорных точек?

Больше шести опорных точек применять недопустимо. При числе опорных точек больше шести деталь опирается не на все опорные точки, и при закреплении деталь под действием усилия закрепления либо изменяет свое положение, либо деформируется.

В качестве примера рассмотрим установку детали (рис. 25, а) в приспособлении с семью опорными точками (рис. 25,б), три из которых обеспечиваются пластинами 1 и 2, еще три — пластинами 3 и 4 и седьмая — опорой 5. Вследствие погрешности  $\pm \gamma$  угла  $90^\circ$  между базами *A* и *B* у деталей (см. рис. 25, а) фактический угол у ряда деталей из партии будет отличаться от  $90^\circ$ . При установке таких деталей в приспособление базой *B* на пластины 3 и 4 база *A* не будет касаться одновременно двух пластин 1 и 2 (см. рис. 25,б).

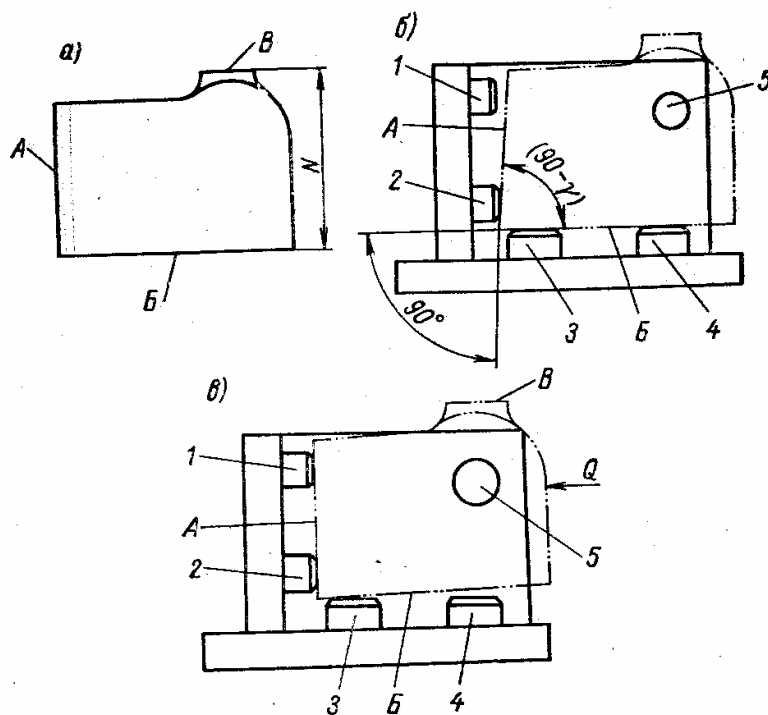


Рис. 25. Установка детали с отступлением от правила шести точек.

При закреплении деталь под действием зажимного усилия *Q* повернется таким образом (см. рис. 25,в), что база *A* будет касаться одновременно обеих пластин 1 и 2, но при этом нарушится контакт базы *B* с пластинами 3 и 4. В результате этого при обработке плоскости *B* на настроенном станке будет возникать погрешность в размере *N* и непараллельность плоскостей *B* и *Б*.

Чтобы не было перекоса детали при закреплении, необходимо оставить шесть опорных точек, т. е. вместо двух пластин 1 и 2 оставить лишь одну пластину 1.

Теперь рассмотрим, допускается ли иметь в приспособлении меньше шести опорных точек.

На практике довольно часто встречаются случаи, когда установка детали производится на пять, четыре и даже три опорные точки. Количество опорных точек определяется числом установочных баз, используемых для установки детали, и их формой. Шесть опорных точек необходимо иметь при установке детали тремя установочными базами. Если же установка детали производится двумя установочными базами, то достаточно пяти опорных точек. При установке детали одной базой, имеющей вид цилиндрической поверхности, достаточно четырех опорных точек, а если база представляет собой плоскость, то требуется всего лишь три опорные точки.



Во всех случаях, когда для установки детали используется меньше шести опорных точек, т. е. используются не три установочные базы, а меньшее число баз, деталь лишается не всех шести степеней свободы, а ее положение в приспособлении полностью не ориентировано.

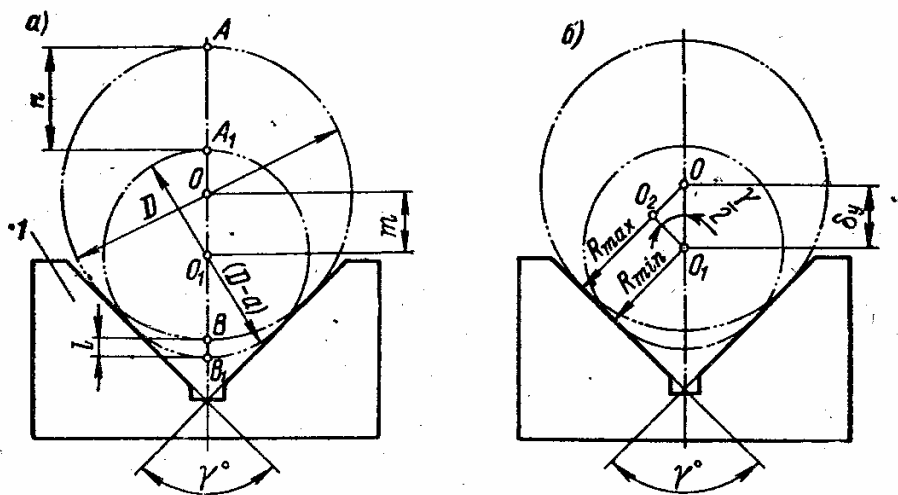
Это обстоятельство должен учитывать технолог при выборе количества установочных баз, необходимых для установки детали на операции.

Количество установочных баз, необходимых для установки детали, определяется требованиями чертежа и условиями выполнения операции. Необходимо выбрать столько баз, чтобы деталь при установке была лишена всех тех степеней свободы, от которых зависит точность исходных размеров, выдерживаемых на операции.

## 20. ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ

Любая схема установки может обеспечить одинаковое положение всем деталям из партии только в том случае, если у них не будет погрешностей в размерах установочных баз и во взаимном расположении баз. В действительности же погрешности всегда имеют место, и они влияют на положение детали в приспособлении.

Практически каждая деталь из партии занимает свое положение в приспособлении, несколько отличающееся от положения других деталей. Например, при установке цилиндрических валиков на призму 1 (рис. 26, а) они в зависимости от их фактического диаметра будут занимать различное положение. Если на призму устанавливаются валики из партии с диаметром  $D_{\text{а}}$ , то Рис. 26. Установка валика на призму.



ось валика с наибольшим диаметром  $D$  будет находится в точке  $O$ , а ось валика с наименьшим диаметром  $(D - a)$  — в точке  $O1$ . Величина смещения оси валика из-за погрешности его диаметра в направлении плоскости симметрии призмы 1 равна отрезку  $OO1$ .

В направлении, перпендикулярном плоскости симметрии призмы 1, ось валика

никогда не смещается.

Подобные случаи, когда смещение детали при установке из-за погрешностей размеров (расположения) баз в разных направлениях имеет разную величину, встречаются довольно часто.

Кроме того, разные поверхности и точки детали при ее установке в приспособление смещаются на разную величину. Так, например, у того же валика (см. рис. 26, а) ось смещается на величину  $m$ , точка  $A$  — на  $n$ , а точка  $B$  — на  $l$ .

Смещение детали при установке, и в первую очередь ее исходных баз, влияет на точность размеров, выдерживаемых на операции. Поэтому в каждом случае необходимо определять смещение исходной базы при установке в направлении исходного размера.

Расстояние между возможными крайними положениями, которые может занимать исходная база у разных деталей из партии при их установке в приспособление, измеренное в направлении исходного размера, называют погрешностью установки и обозначают  $\delta_y$

Смещение исходной базы при установке детали порождается не только погрешностями изготовления базы, но и погрешностями изготовления установочного элемента и его износом. Пределы износа элементов должны оговариваться на чертеже приспособления.

В дальнейшем при определении погрешности установки влиянием износа элементов будем пренебрегать, полагая, что их износ не выходит за пределы отклонений на изготовление.

Определение величины погрешности установки  $\delta_y$  сводится к решению геометрических задач.

Рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. Определим величину погрешности установки оси валика в направлении оси симметрии призмы ХСМ. рис. 26,б).

$$OO_2 = R_{\max} - R_{\min}; \quad OO_1 = \delta_y.$$

Тогда

$$\delta_y = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\sin \frac{\gamma}{2}}. \quad (7)$$

В прямоугольном треугольнике  $OO_2O_1$

Если на призму устанавливаются валики из партии с диаметром  $D_a$ , то

Подставляя значения  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$  в выражение (7), после преобразования получим:

$$R_{\max} = \frac{D_{\max}}{2} = \frac{D}{2} \text{ мм};$$

$$R_{\min} = \frac{D_{\min}}{2} = \frac{D - a}{2} \text{ мм}.$$

$$\delta_y = \frac{a}{2 \sin \frac{\gamma}{2}} \text{ мм}, \quad (8)$$

где  $a$  — допуск на диаметр валика, в мм;

$\gamma$  — угол между установочными плоскостями призмы, в град.

На практике обычно применяют призмы с углом  $\gamma=90^\circ$ . Подставив значение  $\gamma$  в формулу (8), получим:

$$\delta_y \approx 0,71a \text{ мм}. \quad (9)$$

Пример 2. На рис. 27, а показана схема установки валика на призму на операции фрезерования уступа.

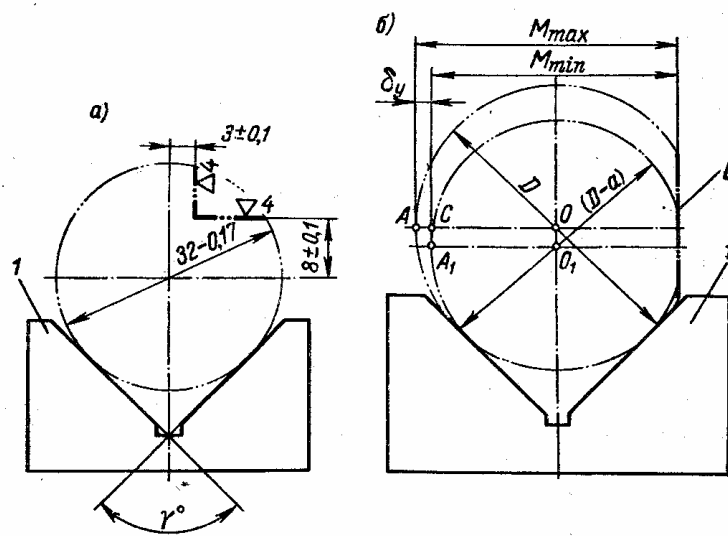


Рис. 27. Установка детали при фрезеровании уступа и лыски

Определим величину погрешности установки в направлении выдерживаемых на операции размеров. У обоих размеров исходной базой является ось валика. Поэтому задача сводится к определению погрешности установки оси валика в направлении заданных размеров ( $3 \pm 0,1$ ;  $8 \pm 0,1$ ).

Так как ось валика никогда не смещается с оси симметрии призмы, то погрешность установки оси валика в направлении размера  $3 \pm 0,1$  равна нулю.

Погрешность установки оси валика в направлении размера  $8 \pm 0,1$  можно определить по формуле (9). В данном случае  $a = 0,17$  мм. Следовательно,

$$\delta_y \approx 0,71a \approx 0,71 \cdot 0,17 \approx 0,12 \text{ мм}.$$

Пример 3. Рассмотрим случай, когда размер задан не от оси валика, а от образующей (рис. 27, б). У валика с диаметром  $D_a$  обрабатывается лыска  $B$  в размер  $M$ , заданный от образующей  $A$ . На схеме (см. рис. 27, б) на призму / установлено два валика: один с наибольшим диаметром  $D$ , а второй — с наименьшим ( $D - a$ ). Точки  $A$  и  $A_1$  соответствуют крайним положениям исходной базы — образующей  $A$  — при установке детали.

Так как ось валика не смещается с оси симметрии призмы, то смещение образующей  $A$  в направлении размера  $M$  вызывается только изменением диаметра валика. Величина смещения исходной базы — образующей  $A$  — в направлении размера  $M$  равна отрезку  $AC = OA - O_1A_1$

$$\text{Так как } OA = \frac{D}{2}, \text{ а } O_1A_1 = \frac{D-a}{2}, \text{ то}$$

$$AC = \frac{D}{2} - \frac{D-a}{2} = \frac{a}{2} \text{ мм.}$$

Следовательно, погрешность установки исходной базы  $A$  в направлении размера  $M$  составит;

$$\delta_y = AC = \frac{a}{2} \text{ мм.}$$

Пример 4. На рис. 28, *a* показана схема установки детали на операции обработки уступа в размеры  $N$  и  $M$ , заданные соответственно от исходных баз  $A$  и  $B$ . В данном случае обе исходные базы совпадают с установочными.

Определим погрешность установки исходной базы  $B$  в направлении размера  $M$ . Так как база  $B$  у всех деталей всегда остается совмещенной с плоскостью пластин 2 и 3, то не будет смещения базы  $B$  в направлении  $M$ , и, следовательно,  $\delta_y = 0$ . Иначе обстоит дело с базой  $A$ . Вследствие погрешности  $\pm \gamma$  угла  $\alpha$  между базами  $A$  и  $B$  база  $A$  будет смещаться при установке. Возможные крайние положения базы  $A$  на схеме обозначены / и //.

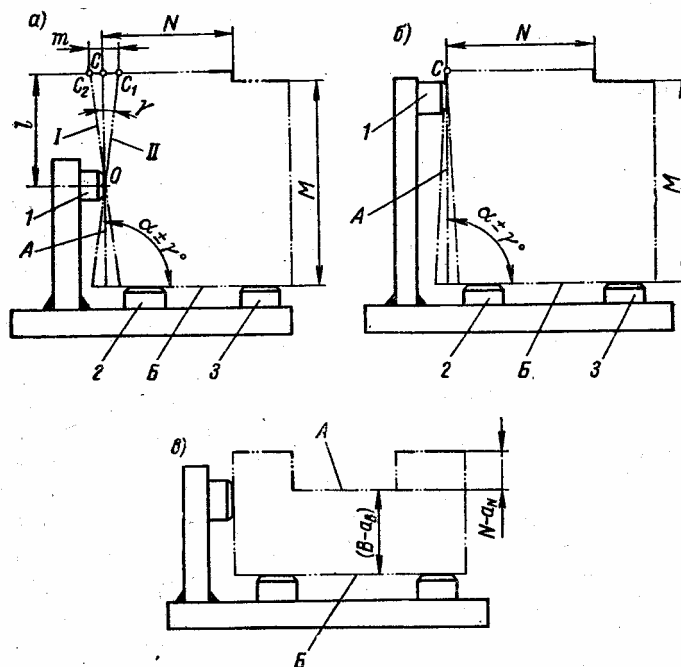


Рис. 28. Эскизы к определению погрешности установки

Разные точки базы  $A$  в направлении размера  $N$  имеют разную величину смещения: точка  $O$ , контактирующая с пластиной /, практически не имеет смещения, а точка  $C$  имеет смещение на величину  $m$ . На точность размера  $N$  наибольшее влияние

оказывает смещение той точки базы, от которой задан размер  $N$ . В данном случае такой точкой и будет точка  $C$ . Наибольшее смещение точки  $C$  в направлении размера  $M$  равно отрезку  $C_1C_2 = m$ .

Следовательно,  $\delta_y = m$ .

Для определения величины  $m$  воспользуемся треугольником  $OCC_1$ , из которого  $C$

Так как  $CC_1 = \frac{m}{2}$ , а  $OC = l$ , то

$$\frac{m}{2} = l \cdot \operatorname{tg} \gamma \text{ или } m = 2l \cdot \operatorname{tg} \gamma.$$

Следовательно,

$$\delta_y = 2l \cdot \operatorname{tg} \gamma \text{ мм.}$$

Для уменьшения погрешности установки точки  $C$  в направлении размера  $N$  необходимо уменьшить расстояние  $OC = l$ , т. е. пластину 1 располагать как можно ближе к точке  $C$  (см. рис. 28,а). Если пластину 7 поставить непосредственно у точки  $C$  (см. рис. 28,б), то погрешность установки точки  $C$  базы  $A$  в направлении размера  $N$  практически будет равна нулю.

Пример 5. В данном примере рассматривается случай, когда установочная база не совмещена с исходной. При принятом способе установки детали (см. рис. 28, в) установочная база  $B$  не имеет смещения в направлении исходного размера  $N_{aN}$ . Поэтому смещение исходной базы  $A$  в направлении размера  $N_{aN}$ , вызывается только погрешностью, связанной с выбором баз, т. е. погрешностью размера  $B_{ав}$  между исходной и установочной базами, выдерживаемого на одной из предшествующих операций (размер взят в скобках). Наибольшее смещение равно допуску на размер  $B$ .

Следовательно,  $\delta_y = a$ .

Выше рассматривались только погрешности, возникающие при установке (вследствие установки детали). Наряду с этими погрешностями имеют место еще погрешности, связанные с закреплением детали в приспособлений. Погрешности от закрепления ( $\delta_3$ ) возникают потому, что под действием усилия закрепления происходят деформации элементов приспособления и детали, вследствие которых исходная база изменяет положение, достигнутое при установке.

## Глава 6 ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 21. ПОНЯТИЕ О ТОЧНОСТИ

В машиностроении вопросу точности обработки деталей машин уделяется большое внимание.

Изготовить детали с абсолютной точностью невозможно. Они имеют отклонения от заданного размера и формы. На появление отклонений действительных размеров и формы обработанной детали от заданных чертежом

вливают многие факторы. Неизбежность появления этих отклонений явилась причиной установления допусков на обработку деталей.

Для нормального выполнения деталью или машиной заданных функций величины отклонений (погрешностей) не должны выходить за определенные пределы, ограничиваемые соответствующими допусками. Чем меньше величина допускаемых отклонений, тем выше точность обработки и тем с большей сложностью и стоимостью сопряжено осуществление технологического процесса. При высоких требованиях к точности детали недостаточно регламентировать только допустимые отклонения размеров. В этом случае необходимо оговаривать также и отклонения от правильной геометрической формы (конусность, овальность, огранка и т. п.). Из рис. 29 видно, что если точную цилиндрическую поверхность ограничить только допуском на диаметр, то между двумя цилиндрическими поверхностями, диаметры которых соответствуют  $D_{max}$  и  $D_{min}$ , могут располагаться поверхности тел вращения с различной формой образующей. Это относится и к форме поперечного сечения, где вместо теоретически правильного круга могут быть получены различные геометрические фигуры, очертания которых не выходят за пределы двух окружностей с диаметрами  $D_{max}$  и  $D_{min}$ .

Между тем отступления от геометрической формы являются нередко основной причиной брака.

На точность деталей оказывает влияние и взаимное расположение отдельных поверхностей по отношению друг к другу (соосность, параллельность, перпендикулярность торцовых поверхностей и т. п.).

При отсутствии на чертежах указаний о допускаемых отклонениях от геометрической формы и взаимного расположения поверхностей подразумевается, что эти отклонения допустимы в пределах поля допуска на соответствующие размеры (на диаметр, расстояние между осями или между плоскостями и т. д.).

Таким образом, точность обработки детали определяется:

- отклонениями действительных размеров детали от номинальных;
- отклонениями от геометрической формы детали или ее отдельных элементов;

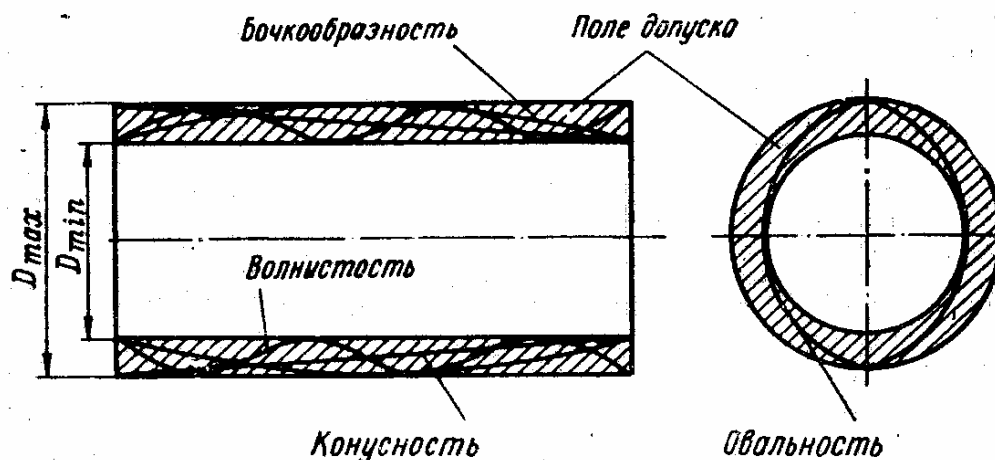


Рис. 29. Отклонения от правильной цилиндрической формы.

отклонениями поверхностей и осей детали от точного взаимного расположения.

Получение заданных размеров можно осуществить двумя методами обработки: путем промеров и пробных проходов и на настроенных станках.

По промерам и пробным проходам заданная точность обработки достигается в условиях единичного и мелкосерийного производства: припуск снимается последовательными проходами на небольшом участке детали; получившийся размер проверяется универсальным мерительным инструментом.

Настройка станка на размер производится путем обработки пробных деталей или установки инструментов с помощью лимбов, индикаторов, миниметров и т. д. Точность установки на размер по лимбу с ценой деления  $0,01 \text{ мм}$  составляет  $5\text{--}10 \text{ мкм}$ , а по индикатору — от  $5$  до  $30 \text{ мкм}$ .

Часто настройку станка осуществляют по эталону или по первой годной обработанной детали.

Форма поверхности обычно обеспечивается станком автоматически. Однако при механической обработке поверхности могут иметь различные отклонения геометрической формы.

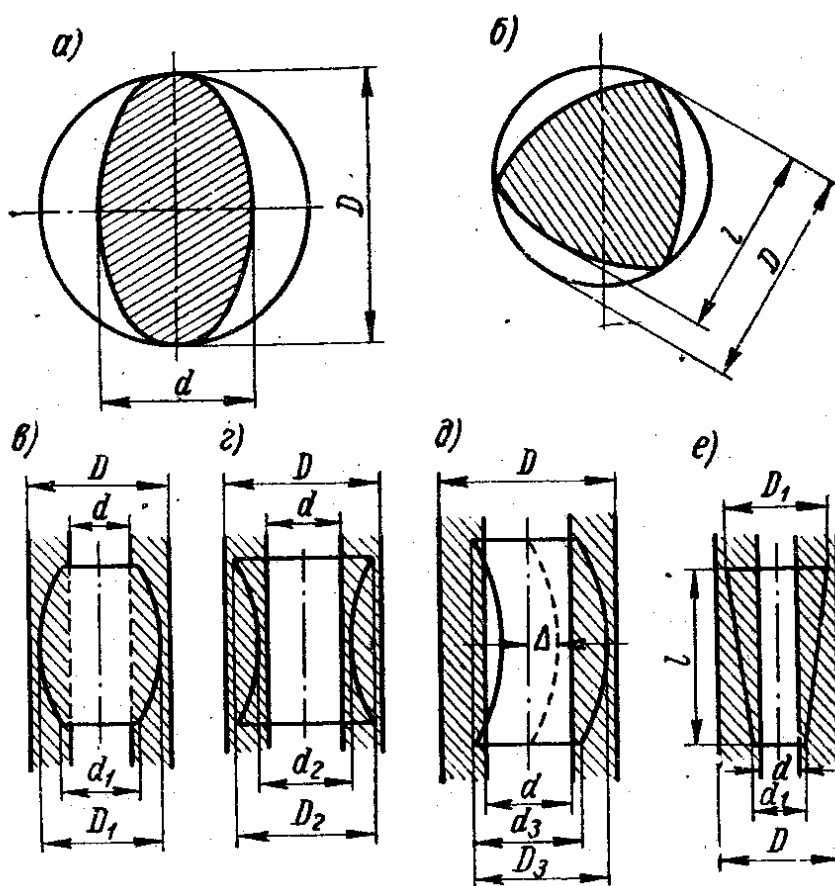


Рис. 30. Отклонения от правильной цилиндрической формы в поперечном и продольном сечениях.

Отклонения от правильной цилиндрической формы в поперечном сечении — овальность и огранка (рис. 30, а и б), а в продольном — бочкообразность, седлообразность, изогнутость и конусообразность (рис. 30, в—е).

Овальность (см. рис. 30, а) характеризуется разностью наибольшего  $D$  и наименьшего  $d$  диаметров в одном поперечном сечении:

$$\Delta = D - d.$$

Овальность образуется при неправильной форме шеек шпинделя и подшипников в результате износа, неуравновешенности вращающихся масс и копирования погрешности (овальности) заготовки.

Огранка (см. рис. 30, б) характеризуется разностью между диаметром  $D$  окружности, в которую полностью вписывается реальный контур сечения, и расстоянием  $l$  между двумя параллельными плоскостями, касательными к рассматриваемому контуру:

$$\Delta = D - l$$

Огранка образуется обычно при вибрациях в процессе резания и износе шеек шпинделя станка.

Бочкообразность (см. рис. 30, в) и седлообразность (см. рис. 30, г) характеризуются разностью диаметров средних  $D_1$  и  $D_2$  и крайних  $d_1$  и  $d_2$  сечений детали:

Бочкообразность образуется при обработке недостаточно жестких деталей (с большим отношением длины к диаметру) в центрах токарного или шлифовального станков, имеющих большую жесткость передней и задней бабок:

$$\Delta = D_1 - d_1; \quad \Delta = D_2 - d_2.$$

Седлообразность появляется в том случае, когда жесткость детали в процессе резания будет значительно больше, чем жесткость бабок станка.

Изогнутость или искривление оси в данном сечении (см. рис. 30, д) представляет собой, расстояние между теоретической осью детали и кривой линией, являющейся

$$\Delta = D_3 - d_3.$$

действительной осью детали. Наибольшая величина  $\Delta$  характеризует наибольшее искривление оси:

Изогнутость встречается главным образом в деталях типа валов - с большим отношением длины к диаметру. Значительное влияние на искривление оси оказывают температурные деформации и перераспределение внутренних напряжений как в процессе получения заготовок и ее обработки, так и в дальнейшем при хранении и эксплуатации детали.

Конусообразностью называется отклонение от параллельности образующих, определяемое отношением разности диаметров  $D_1$  и  $d_1$  двух поперечных сечений детали к расстоянию  $l$  между ними (см. рис. 30, е):

$$\Delta = \frac{D_1 - d_1}{l}.$$

Конусообразность образуется при несовпадении центров передней и задней бабок станка в горизонтальной плоскости и износе режущего инструмента.



Наиболее типичным отклонением плоской формы от правильной геометрической формы является неплоскостность (рис. 31,а). Она определяется расстоянием  $A$  между двумя взаимно-параллельными плоскостями  $A$  и  $B$ ; между ними располагается профиль сечения проверяемой поверхности нормальной к ней плоскостью  $B$  (рис. 31,б).

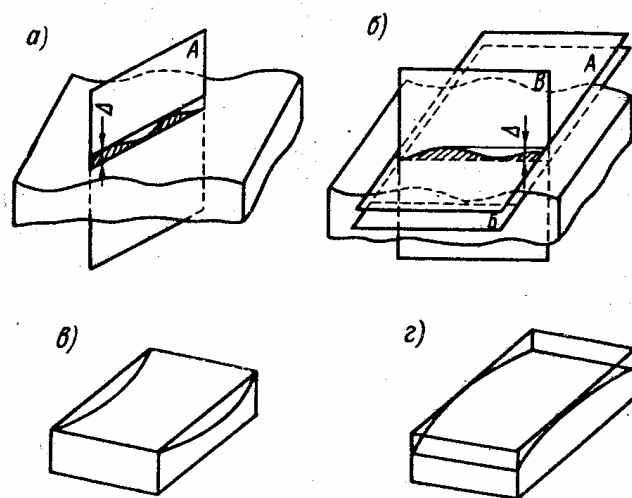


Рис. 31. Отклонения формы плоской поверхности.

Элементарными видами неплоскостности можно назвать вогнутость и выпуклость (рис. 31,в и г).

Точность взаимного расположения поверхностей обеспечивается и оборудованием. Наиболее характерными отклонениями являются: отклонение от соосности, отклонение от правильного расположения параллельных или перпендикулярных осей, торцовое биение, непараллельность и неперпендикулярность плоскостей, несимметричность и т. п.

Отклонение от соосности определяется радиальным биением (рис. 32, а) или расстоянием между осями — эксцентриситетом (рис. 32,б).

Отклонение от параллельности осей или оси от базовой плоскости (рис. 32,в) определяется разностью расстояний между осями или соответственно между осью и плоскостью по всей длине  $l$  контролируемых поверхностей. Форма записи допустимого отклонения может относиться либо ко всей длине  $l$ , как это задано, например для параллельности осей  $0,06 \text{ мм.}$ , либо к соответствующей части общей длины, например,  $0,02:100$ —для параллельности между осью и базовой плоскостью.

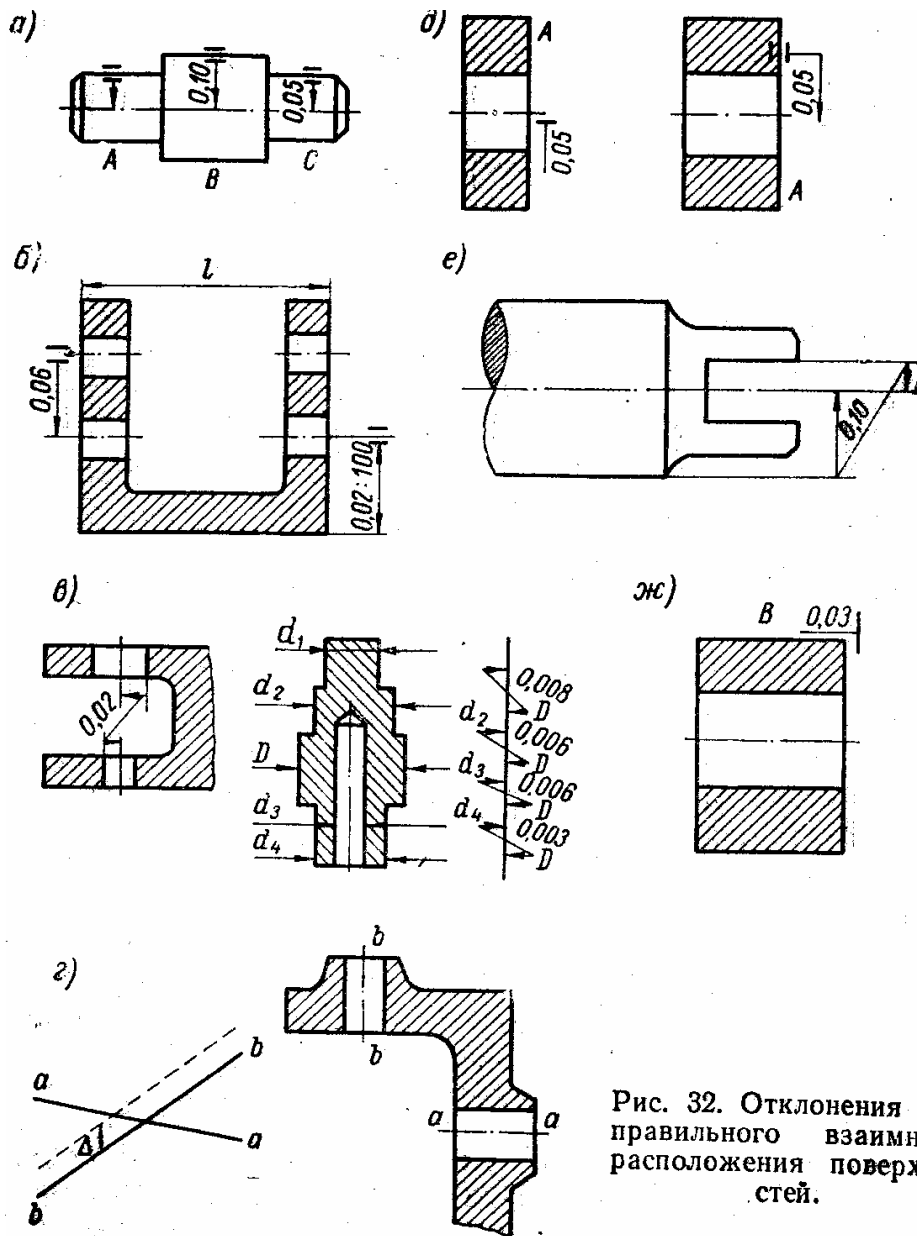


Рис. 32. Отклонения от правильного взаимного расположения поверхностей.

Отклонение от правильного расположения перпендикулярных осей (непересечение, нескречивание) определяется как кратчайшее расстояние  $A$  (рис. 32,  $z$ ) между осями на контролируемой длине.

Торцовое биение (рис. 32,  $z$ ) представляет собой наибольшее осевое отклонение контролируемой торцовой поверхности от правильной плоскости, перпендикулярной оси детали.

Неперпендикулярность торцовой плоскости к оси (рис. 32,  $ж$ ) равна половине величины торцового биения.

Несимметричность или отклонение от правильного расположения относительно оси симметрии и условное обозначение допустимого отклонения показаны на рис. 32,  $e$ .

Если на рабочих чертежах нет указания о допустимых отклонениях от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей, то это говорит о том, что указанные отклонения не должны выходить за пределы поля допуска на соответствующий размер.

## 22. ПРИЧИНЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Основными причинами погрешностей механической обработки являются:

- 1) неточность и износ станков;
- 2) неточность и износ инструментов и приспособлений;
- 3) деформации обрабатываемой заготовки под действием сил резания и закрепления» нагрева в процессе обработки и перераспределения внутренних напряжений;
- 4) погрешности, возникающие при установке инструментов и их настройке на размер;
- 5) жесткость технологической системы. **Неточность и износ станков.**

Металлорежущий станок как и всякую машину, изготовить абсолютно точно практически невозможно. Это объясняется тем, что невозможно изготовить основные детали станка абсолютно точно и невозможно собрать узлы станка без погрешностей.

Собственная точность металлорежущих станков, т. е. точность их в ненагруженном состоянии, регламентирована ГОСТами. Так, например, по ГОСТу радиальное биение шпинделей токарных и фрезерных станков допускается до 0,01—0,05 мм; торцовое биение шпинделей— до 0,01—0,02 мм; прямолинейность и параллельность направляющих токарных и продольно-строгальных станков •на длине 1000 мм—до 0,02 мм; то же на всей длине— 0,05—0,08 мм и т. д.

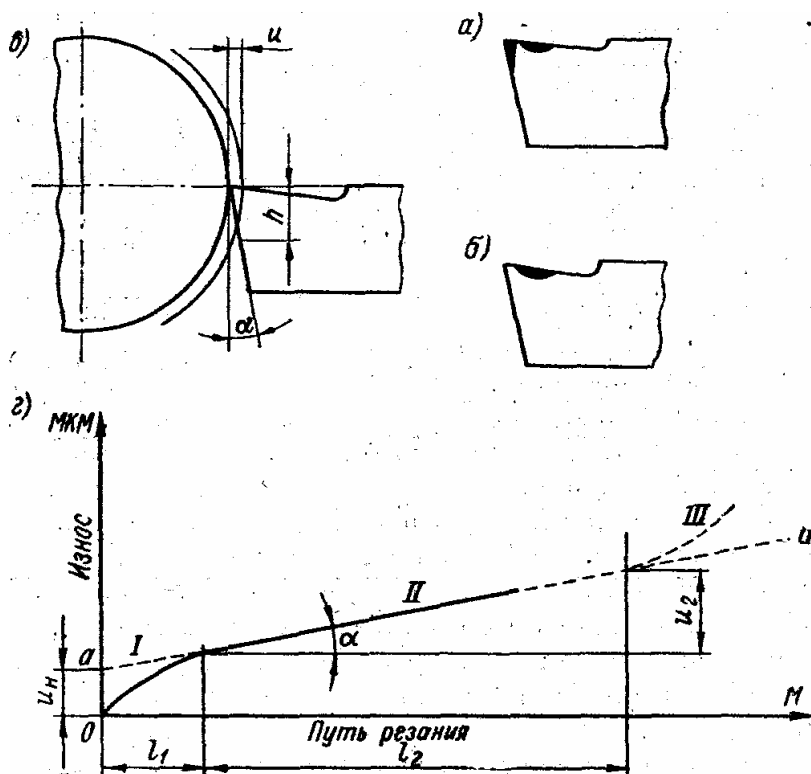


Рис. 33. Виды износа режущего инструмента.

Для выполнения особо точных работ промышленность выпускает станки с повышенной точностью, так называемые прецизионные, степень точности изготовления которых приблизительно в 2—3 раза выше по сравнению с точностью обычных станков.

По мере износа собственная неточность станка возрастает. Особое значение имеет износ подшипников и шеек шпинделей, а также направляющих станин. Вследствие износа шпинделя и подшипников у станков токарного типа появляется биение шпинделя, придающее неточность геометрической форме обрабатываемой детали.

Износ направляющих токарного станка вызывает несовпадение центров бабок, что также приводит к погрешности геометрической формы обрабатываемой детали.

**Неточность и износ инструмента.** Точность обработки непосредственно связана с точностью изготовления режущего инструмента в двух *случаях*:

1) при работе мерным инструментом, когда размер инструмента непосредственно передается детали;

2) при работе фасонными инструментом, когда его профиль переносится на деталь.

В промышленности применяют большое количество немерных режущих инструментов — проходные резцы, торцовые фрезы и др. Погрешность изготовления этих инструментов непосредственного влияния на точность обработки не оказывает.

Существенно влияет на точность обработки износ режущего инструмента. В процессе обработки режущие инструменты изнашиваются как по задней поверхности (рис. 33, а), так и по передней (рис. 33, б). Следствием износа резца по задней поверхности на величину  $V$  (рис. 33, б) является изменение размера детали на величину  $W$ . Такой износ получил название размерного износа.

В технологии машиностроения размерный износ инструмента принято выражать в зависимости от пройденного им пути резания  $L$ , определяемого по формуле:

$$L = \frac{\pi D l}{1000 s} \text{ м,}$$

где  $L$  — длина пути резания, в м;

$D$  — диаметр обрабатываемой детали, в мм;

$l$  — длина обрабатываемой детали, в мм;

$s$  — подача, в мм/об.

Размерный износ инструмента протекает неравномерно. В первый период (участок / на рис. 33, г) работы режущего инструмента происходит повышенный износ, называемый первоначальным износом. Время работы на этом участке небольшое, а путь резания  $l_1$  не превышает 1000 м.

Во второй период (участок //) работы режущего инструмента, когда он проходит наибольшую часть всего пути резания  $t_2$ , происходит нормальный износ. Путь резания  $l_2$  на этом участке достигает 30000 м.

Интенсивность размерного износа на участке // можно характеризовать тангенсом угла наклона  $\alpha$  этого участка к оси абсцисс. Данную величину принято

называть относительным (удельным) износом  $U_0$ :

$$U_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{U_2}{L_2}$$

где  $U_2$  — размерный износ, полученный за время второго периода работы инструмента. Размерность для величины  $U_0$  принята  $\text{мкм/км}$ . Третий период (участок ///), когда происходит интенсивный износ инструмента, непродолжителен. На протяжении этого периода вершина резца разрушается, поэтому в конце участка /// прибегают к смене инструмента.

Заменив кривую износа прямой  $aa$ , можно упростить расчет для определения размерного износа. Прямая  $aa$  совпадает с кривой на участке // и отсекает на оси ординат отрезок  $U_0$ , называемый начальным износом. Зная для конкретных условий обработки значения  $U_0$  и  $L_0$ , можно определить размерный износ на длине пути резания  $L$  по формуле:

$$U = U_0 + \frac{U_0^2}{1000} \text{ мкм.}$$

Величина относительного износа  $U_0$  зависит от способа обработки и обрабатываемого материала, материала режущего инструмента, режима резания и геометрии режущего инструмента.

**Неточность и износ приспособлений.** Приспособления, применяемые для установки деталей, также являются источником погрешностей. Дело в том, что сами приспособления имеют неточность изготовления. Кроме того, увеличивается их износ с течением времени и деформацией в процессе обработки. Возникают также погрешности и в результате неточного ориентирования обрабатываемой детали в приспособлении.

Точность изготовления приспособлений должна быть выше точности обрабатываемой детали. При точных работах (2—3-й классы) обычно допуски на размеры приспособлений берутся равными 1/2—1/10 допусков на соответствующие размеры детали. При грубых работах (4-й класс и ниже) относительная точность приспособлений может быть выше (1/3—1/10 допуска на деталь).

**Деформации обрабатываемой заготовки.** Под действием усилий закрепления заготовки и резания, собственного веса, нагрева в процессе обработки и перераспределения внутренних напряжений появляются те или иные деформации, детали, вызывающие соответствующие погрешности.

При чистовой обработке на точность изготовления в значительной мере влияет усилие закрепления детали. При обработке длинных деталей типа валов в центрах давление центра задней бабки станка вызывает сжатие и продольный изгиб детали. При обработке внутренних поверхностей тонкостенных деталей (штулок, колец, гильз и т. п.) в трехкулачковом патроне усилие закрепления искажает их цилиндрическую форму. В этом случае не следует пользоваться трех- или четырехкулачковыми патронами, а лучше применять приспособления, которые

обеспечивают более равномерное распределение усилия закрепления по поверхности детали и получение сравнительно небольших удельных давлений. К таким приспособлениям относятся пневматические зажимные устройства, различные цанговые зажимы, разрезные втулки и т. п.

Деформации обрабатываемой детали под действием усилий резания приводят к существенным погрешностям. Усилия резания больше всего сказываются при обработке деталей с большим отношением длины к диаметру и при малой их жесткости. Они приводят не только к изменению размеров, но и к погрешности формы и относительного положения обрабатываемой поверхности. Применение люнетов и использование режущих инструментов с большими углами в плане уменьшают погрешности. Увеличение, например, угла в плане до  $75\text{—}90^\circ$  приводит к резкому уменьшению радиальной составляющей резания, которая и является в данном случае основным источником возникновения погрешностей.

При механической обработке детали нагреваются. При равномерном распределении тепла по длине и толщине детали изменяются только размеры детали, а при неравномерном распределении может изменяться также и ее форма.

При черновой обработке деталь нагревается до более высокой температуры, чем при чистовой. Если чистовую обработку производят сразу после черновой, то погрешности в данном случае будут велики. Поэтому необходимо разделение черновой и чистовой обработки. Соблюдение известного перерыва между этими операциями приводит к остыванию детали, что является наиболее эффективным средством борьбы с погрешностями, вызываемыми температурными деформациями.

На точность обработки оказывает существенное влияние перераспределение внутренних напряжений в материале детали. Внутренние напряжения возникают при горячей обработке заготовок из-за неравномерного охлаждения и структурных изменений в материале, при обработке давлением в холодном состоянии и при обработке резанием. С течением времени внутренние напряжения постепенно выравниваются и исчезают, но при этом заготовка деформируется. Для уменьшения влияния перераспределения внутренних напряжений на точность обработки часто применяют для литых и кованных заготовок термический процесс старения или низкотемпературный отжиг.

При обработке резанием, когда снимается большой слой металла за один проход, существенно нарушается равновесие внутренних напряжений и происходит значительная деформация детали, заключающаяся в искривлении ее осей и плоскостей. В данном случае необходимо отделение черновых операций механической обработки от чистовых.

## **23. ЖЕСТКОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Главным источником погрешностей механической обработки является недостаточная жесткость системы станок—приспособление—инструмент—деталь или сокращенно—системы СПИД. Погрешности от упругих деформаций системы

СПИД составляют в отдельных случаях до 80% общей погрешности механической обработки.

Как известно, силы резания действуют не только на режущий инструмент, но и в обратном направлении— на обрабатываемую деталь, причем основное влияние на деформацию узлов и станка в целом оказывают составляющие силы резания  $P_y$  и  $P_x$ . Под действием этих сил (например, за счет отжатия на токарном станке передней и задней бабок) обрабатываемая деталь отходит от инструмента. В результате этих отжатий изменяется расстояние от оси детали до вершины резца, следовательно, изменяется и размер обрабатываемой детали.

На точность механической обработки заметно влияют перемещения узлов станка только в направлении действия сил резания  $P_y$ , т. е. в направлении, нормальном (перпендикулярном) к обрабатываемой поверхности.

Если суммарное перемещение узлов станка в нормальном направлении составляет 0,15 мм, то диаметр детали при наружной обработке увеличивается на 0,3 мм.

Жесткостью технологической системы станок — деталь — инструмент называют отношение составляющей усилия  $P_y$ , направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента  $y$  относительно детали, отсчитываемому в том же направлении:

$$j = \frac{P_y}{y} \text{ кг/мм},$$

где  $P_y$ —радиальная составляющая силы резания, в кг;

$y$ —деформация системы, в мм. Величину, обратную жесткости, принято называть податливостью и обозначать буквой  $W$ , Податливость измеряют в мкм/кг:

$$W = \frac{1}{j} \cdot 1000 \text{ мкм/кг}.$$

Деформация системы будет составлять:

$$y = \frac{P_y}{j} \cdot 1000 = P_y W \text{ мкм}.$$

В реальных условиях на систему будут действовать также и составляющие сил резания  $P_z$  и  $P_x$ , поэтому в общем случае жесткость системы будет зависеть также и от  $P_z$  и  $P_x$

При токарной обработке составляющая  $P_x$  направлена параллельно оси детали, а потому ее влияние на деформацию и погрешность детали в поперечном направлении ничтожно мало.

Несмотря на то что деформация системы под воздействием силы  $P_s$  получается довольно значительной, во многих случаях даже превосходящей деформацию под воздействием силы  $P_y$ , тем не менее при определении жесткости составляющую  $P_z$  не учитывают. Это объясняется тем, что погрешность, вызываемая деформацией "" от силы  $P_p$  будет весьма мала и с вполне достаточной для практики точностью ею можно пренебречь.

Рассмотрим схему расчета жесткости технологической системы и ее отдельных элементов при обработке вала на токарном станке.

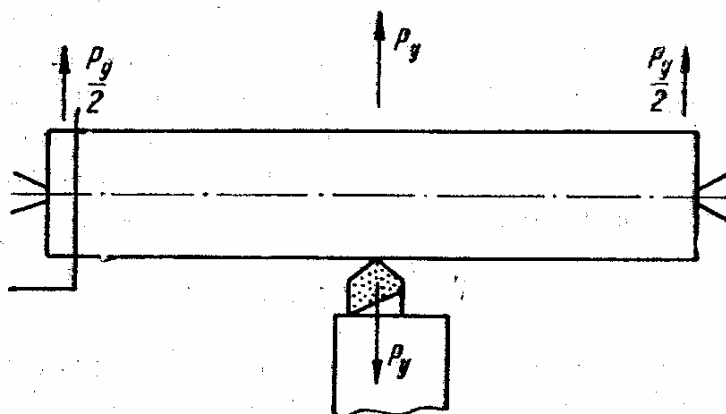


Рис. 34. Эскиз к расчету жесткости токарного станка.

Расчет жесткости системы основывается на определении жесткости детали, станка, инструмента и приспособления.

**Жесткость детали** зависит от физико-механических свойств материала, из которого она изготовлена, от ее **размеров** и от способа ее установки и закрепления на станке.

Жесткость обрабатываемой детали во многих случаях можно определить расчетом, пользуясь выводами теории о сопротивлении материалов. Жесткость деталей изготовленных из металлов, которые подчиняются закону Гука, является величиной постоянной.

При обработке вала в центрах токарного станка (рис. 34) можно применять формулу изгиба балки, свободно лежащей на двух опорах:

$$y = \frac{Pl^3}{48EI}$$

где  $y$ —стрела прогиба, в см;

$P$ —нагрузка, в кг;

$E$ —модуль упругости, в кг/см<sup>2</sup>;

$i$ —момент инерции, в см<sup>2</sup>;

$l$ —общая длина вала, в см.

Жесткость  $j$  гладкого вала диаметром  $d$  и длиной  $l$ , установленного в центрах, при

$$j = \frac{P_y}{y} = \frac{P_y 48EI}{P_y l^3} = \frac{48EI}{l^3} \quad (10)$$

усилии резания  $P_y$ , приложенного в середине длины вала, будет равна:

Считая, что вал изготовлен из конструкционной стали, принимаем момент инерции поперечного сечения  $J=0,05d^4$  и модуль упругости  $E=2 \cdot 10^4$  кг/мм<sup>2</sup>. Подставив указанные значения в формулу (10), получим:

$$j_{\text{дет}} = \frac{48 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,05d^4}{l^3} = 4,8 \cdot 10^4 d \left( \frac{d}{l} \right)^3 \text{ кг/мм.} \quad (11)$$



Податливость детали  $W_{дет}$  будет равна:

$$W_{дет} = \frac{1}{j_{дет}} 1000 = \frac{1}{48d} \left(\frac{l}{d}\right)^3 \text{ мкм/кг.}$$

При диаметре вала 100 мм, длине 1000 мм и приложении нагрузки посередине получим:

$$j_{дет} = 48\,000 \cdot 100 \left(\frac{1000}{100}\right)^3 = 4800 \text{ кг/мм};$$

$$W_{дет} = \frac{1}{4800} 1000 = 0,208 \text{ мкм/кг.}$$

Практикой установлено, что величина жесткости, при которой удовлетворительно протекает процесс обработки деталей типа валов, должна быть не менее 950 кг/мм. Расчет по формуле (11) показывает, что заготовки диаметром от 20 мм и выше с отношением  $d:l$  до 1:10 обладают достаточной жесткостью при механической обработке, а заготовки с отношением  $d:l > 1:12$  являются нежесткими. Величина прогиба вала пропорциональна его длине в третьей степени. Например, если один вал имеет длину  $l=500$  мм, а второй  $l=1000$  мм, то вал  $l=1000$  мм при том же диаметре и силе резания будет иметь величину прогиба в 8 раз больше, чем у вала  $l=500$  мм.

При обработке деталей типа гладких валов в патроне без опоры в виде заднего центра можно рассматривать деталь как балку, закрепленную одним концом. Прогиб детали в этом случае будет составлять:

$$u_{дет} = \frac{P_y l^3}{3EI};$$

жесткость детали будет равна:

$$j_{дет} = \frac{P_y}{u_{дет}} = \frac{P_y 3EI}{P_y l^3} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,05d^4}{l^3} = 3000 \left(\frac{d}{l}\right)^3 \text{ кг/мм}; \quad (12)$$

податливость детали будет составлять

инструмента. В результате этих отжатий изменяется расстояние от оси детали до вершины резца, следовательно, изменяется и размер обрабатываемой детали.

На точность механической обработки заметно влияют перемещения узлов станка только в направлении действия сил резания  $P_y$ , т. е. в направлении, нормальном (перпендикулярном) к обрабатываемой поверхности.

Если суммарное перемещение узлов станка в нормальном направлении составляет  $0,15 \text{ мм}$ , то диаметр детали при наружной обработке увеличивается на  $0,3 \text{ мм}$ .

Жесткостью технологической системы станок — деталь — инструмент называют отношение составляющей усилия  $P_y$ , направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента  $y$  относительно детали, отсчитываемому в том же направлении:

$$j = \frac{P_y}{y} \text{ кг/мм},$$

где  $P_y$  — радиальная составляющая силы резания, в кг;  $y$  — деформация системы, в мм.

Величину, обратную жесткости, принято называть податливостью и обозначать буквой  $W$ .

Податливость измеряют в  $\text{мм/кг}$ :

В реальных условиях на систему будут

Деформация системы будет составлять:

$$y = \frac{P_y}{j} 1000 = P_y W \text{ мм}.$$

действовать также и составляющие сил резания  $P_z$  и  $P_x$ , поэтому в общем случае жесткость системы будет зависеть также и от  $P_z$  и  $P_x$ .

При токарной обработке составляющая  $P_x$  направлена параллельно оси детали, а потому ее влияние на деформацию и погрешность детали в поперечном направлении ничтожно мало.

Несмотря на то что деформация системы под воздействием силы  $P_z$  получается довольно значительной, во многих случаях даже превосходящей деформацию под воздействием силы  $P_y$ , тем не менее при определении жесткости составляющую  $P_z$  не учитывают. Это объясняется тем, что погрешность, вызываемая деформацией от силы  $P_y$  будет весьма мала и с вполне достаточной для практики точностью ею можно пренебречь.

Рассмотрим схему расчета жесткости технологической системы и ее отдельных элементов при обработке вала на токарном станке.

Расчет жесткости системы основывается на определении жесткости детали, станка, инструмента и приспособления.

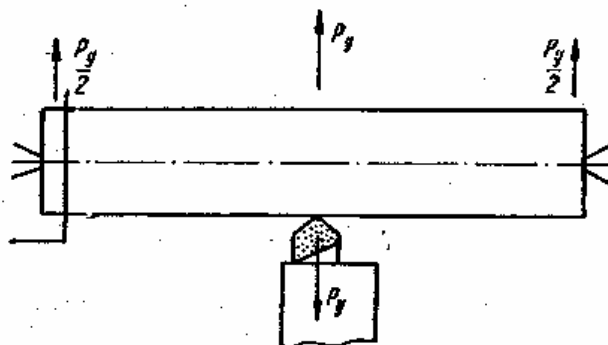


Рис. 34. Эскиз к расчету жесткости токарного станка.

Жесткость детали зависит от физико-механических свойств материала, из которого она изготовлена, от ее размеров и от способа ее установки и закрепления на станке.

Жесткость обрабатываемой детали во многих случаях можно определить расчетом, пользуясь выводами теории о сопротивлении материалов. Жесткость деталей, изготовленных из металлов, которые подчиняются закону Гука, является величиной постоянной.

При обработке вала в центрах токарного станка (рис. 34) можно применять формулу изгиба балки, свободно лежащей на двух опорах:

$$y = \frac{Pl^3}{48EI},$$

где  $y$  — стрела прогиба,

$E$  — модуль упругости, в  $кг/см^2$ ;     ;;

$I$  — момент инерции, в  $см^4$ ;     .     ;

$l$  — общая длина вала, в  $см$ .

Жесткость  $j$  гладкого вала диаметром  $d$  и длиной  $l$ , установленного в центрах, при усилии резания  $P_y$ , приложенного в середине длины вала, будет равна:

$$j = \frac{P_y}{y} = \frac{P_y 48EI}{P_y l^3} = \frac{48EI}{l^3}. \quad (10)$$

Считая, что вал изготовлен из конструкционной стали, принимаем момент инерции поперечного сечения  $j = 0,05d^4$  и модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^4$   $кг/мм^2$ . Подставив указанные значения в формулу (10), получим:

$$j_{дет} = \frac{48 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,05d^4}{l^3} = 4,8 \cdot 10^4 d \left(\frac{d}{l}\right)^3 \text{ кг/мм}. \quad (11)$$

Податливость детали  $W_{дет}$

$$W_{дет} = \frac{1}{j_{дет}} 1000 = \frac{1}{48d} \left(\frac{l}{d}\right)^3 \text{ мм/кг}.$$

При диаметре вала 100 мм, длине 1000 мм и приложении нагрузки посередине получим:

$$j_{дет} = 48 \cdot 1000 \cdot 100 \left(\frac{1000}{100}\right)^3 = 4800 \text{ кг/мм};$$

$$W_{дет} = \frac{1}{4800} 1000 = 0,208 \text{ мм/кг}.$$

Практикой установлено, что величина жесткости, при которой удовлетворительно протекает процесс обработки деталей типа валов, должна быть не менее 950  $кг/мм$ . Расчет по формуле (11) показывает, что заготовки

диаметром от 20 мм и выше с отношением  $d:l$  до 1:10 обладают достаточной жесткостью при механической обработке, а заготовки с отношением  $d:l > 1:12$  являются нежесткими.

Величина прогиба вала пропорциональна его длине в третьей степени. Например, если один вал имеет длину  $l=500$  мм, а второй  $l=1000$  мм, то вал  $l=1000$  мм при том же диаметре и силе резания будет иметь величину прогиба в 8 раз больше, чем у вала  $l=500$  мм.

При обработке деталей типа гладких валов в патроне без опоры в виде заднего центра можно рассматривать деталь как балку, закрепленную одним концом. Прогиб детали в этом случае будет составлять:

$$u_{\text{дет}} = \frac{P_y l^3}{3EI};$$

жесткость детали будет равна:

$$J_{\text{дет}} = \frac{P_y}{u_{\text{дет}}} = \frac{P_y 3EI}{P_y l^3} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0,05 d^4}{l^3} = 3000 \left( \frac{d}{l} \right)^3 \text{ кг/мм}; \quad (12)$$

податливость детали будет составлять:

$$W_{\text{дет}} = \frac{1000}{J_{\text{дет}}} = \frac{1}{3d} \left( \frac{l}{d} \right)^3 \text{ мм/кг}.$$

Для ступенчатого вала при нагружении его посередине

$$J_{\text{дет}} = 1,6 \frac{Ed^4}{l^3} = 32000d \left( \frac{d}{l} \right)^3 \text{ кг/мм}$$

Деталь, закрепленная в патроне и поддерживаемая центром задней бабки, является статически неопределимой системой. Если считать закрепление конца детали в патроне и задний центр абсолютно жесткими, то при нагружении посередине получим:

$$J_{\text{дет}} = \frac{110EI}{l^3}.$$

На самом деле вследствие упругости закрепления и податливости заднего центра деформации детали получаются большими, а жесткость меньшей:

$$J_{\text{дет}} = \frac{CEI}{l},$$

где  $C=90-100$  вместо  $C=48$  при закреплении в центрах. **Жесткость** токарного станка определяется жесткостью его узлов — передней бабки, суппорта и задней бабки. При обработке гладкого вала в центрах токарного станка жесткость станка можно определить следующим образом. Из схемы, показанной на рис. 34, видно, что на инструмент и деталь действуют равные силы  $P_y$ , направленные в противоположные стороны. Сила  $P_y$ , приложенная к инструменту, полностью действует и на суппорт, вызывая его смещение. Сила  $P_y$ , действующая на деталь, передает свое усилие передней и задней бабкам и вызывает деформацию детали и смещение ее вместе с бабками относительно линии центров станка. В зависимости от положения суппорта по длине детали величина усилия, передающегося на бабки, будет изменяться, а следовательно, и смещение бабок будет иметь переменное значение.

Поэтому жесткость станка будет изменяться в зависимости от перемещения суппорта.

При данной схеме установки детали (см. рис. 34) смещение суппорта будет равно:

$$y_{\text{суп}} = \frac{P_y}{j_{\text{суп}}} \text{ мм};$$

смещение центра передней бабки составит:

$$y_{\text{п. б}} = \frac{P_y}{2j_{\text{п. б}}} \text{ мм},$$

а смещение  $y_{\text{з. б}} = \frac{P_y}{2j_{\text{з. б}}} \text{ мм}$  центра задней бабки будет равно:

В формулы смещений бабок вводится лишь половина усилия  $P_y/2$ , так как давление резания передается

на обе бабки равномерно.

Смещение середины вала (считая сам вал абсолютно жестким) зависит от смещения бабок:

$$y_{\text{бабок}} = \frac{1}{2} \left( \frac{P_y}{2j_{\text{п. б}}} + \frac{P_y}{2j_{\text{з. б}}} \right) = \frac{P_y}{4} \left( \frac{1}{j_{\text{п. б}}} + \frac{1}{j_{\text{з. б}}} \right).$$

Изменение размера обрабатываемой детали будет зависеть от смещения суппорта и бабок. Поэтому для станка в целом получим:

$$y_{\text{ст}} = \frac{P_y}{j_{\text{суп}}} + \frac{P_y}{4} \left( \frac{1}{j_{\text{п. б}}} + \frac{1}{j_{\text{з. б}}} \right).$$

С другой стороны, из формулы жесткости станка имеем:

$$y_{\text{ст}} = \frac{P_y}{j_{\text{ст}}}.$$

Приравняв оба выражения для  $y_{\text{ст}}$ , находим:

$$\frac{1}{j_{\text{ст}}} = \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{4} \left( \frac{1}{j_{\text{п. б}}} + \frac{1}{j_{\text{з. б}}} \right);$$

$$W_{\text{ст}} = W_{\text{суп}} + \frac{1}{4} (W_{\text{п. б}} + W_{\text{з. б}}).$$

В том случае, когда резец будет находиться не посередине длины детали  $l$ , а на расстоянии  $x$  от передней бабки, формулы будут иметь следующий вид:

$$\frac{1}{j_{\text{ст}}} = \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{j_{\text{п. б}}} \left( \frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{j_{\text{з. б}}} \left( \frac{x}{l} \right)^2;$$

$$W_{\text{ст}} = W_{\text{суп}} + W_{\text{п. б}} \left( \frac{l-x}{l} \right)^2 + W_{\text{з. б}} \left( \frac{x}{l} \right)^2.$$

Рассмотрим пример определения жесткости и податливости токарного станка, исходя из жесткости и податливости его узлов. Жесткость узлов токарного станка с высотой центров 200—250 мм примем следующейю:

Податливость узлов станка будет равна:

$$W_{\text{п. б}} = \frac{1}{9000} 1000 = 0,11 \text{ мм/кг};$$

$$W_{\text{з. б}} = \frac{1}{8000} 1000 = 0,125 \text{ мм/кг};$$

$$W_{\text{суп}} = \frac{1}{7000} 1000 = 0,14 \text{ мм/кг}.$$

Когда резец находится посередине длины детали, податливость и жесткость токарного станка составят:

$$W_{ст} = W_{суп} + \frac{1}{4} (W_{п. б} + W_{с. б}) = 0,14 + \frac{1}{4} (0,11 + 0,125) =$$

$$= 0,2 \text{ МкМ/кг};$$

$$j_{ст} = \frac{1}{W_{ст}} 1000 = \frac{1000}{0,2} = 5000 \text{ кг/ММ.}$$

Жесткость инструмента и приспособлений. Деформации режущего инструмента играют весьма важную роль при выполнении операции растачивания. При обработке отверстий (сравнительно глубоких) консольно закрепленные расточные оправки обычно являются наиболее слабыми звеньями технологической системы. Во многих случаях низкая жесткость оправок является причиной снижения режимов резания.

При обработке наружных поверхностей проходными резцами жесткость инструмента может быть принята равной бесконечности, а его податливость равной нулю. Это связано с тем, что усилие  $P_y$ , действующее вдоль стержня резца и стремящееся вызвать его сжатие, не в состоянии привести к сколько-нибудь практически ощутимой величине деформации и погрешности.

Жесткость приспособлений во многих случаях является фактором, сильно влияющим на точность обработки.

Жесткость технологической системы в целом. При обработке, например, вала в центрах токарного станка деформация технологической системы представляет собой сумму деформаций детали, станка и инструмента:

$$y = y_{дет} + y_{ст} + y_{и.}$$

где  $y$  — деформация системы;  $y_{дет}$  — деформация детали;  $y_{ст}$  — деформация станка;  $y_{и.}$  — деформация инструмента.

В рассматриваемом случае податливость инструмента, а следовательно, и его деформацию можно принять равными нулю, тогда

$$y = y_{дет} + y_{ст.}$$

Исходя из жесткости системы  $j$  и податливости  $W$ , деформация системы может быть выражена и такой зависимостью

$$y = \frac{P_y}{j} = P_y W,$$

а потому

$$\frac{P_y}{j} = \frac{P_y}{j_{дет}} + \frac{P_y}{j_{ст}};$$

$$P_y W = P_y W_{дет} + P_y W_{ст.}$$

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{дет}} + \frac{1}{j_{ст}};$$

$$W = W_{дет} + W_{ст.}$$

Подсчитаем, для примера, жесткость и податливость системы при обработке гладкого вала в центрах токарного станка в случае, когда резец находится посередине длины детали.

Численные значения жесткости и податливости детали и станка нами были определены ранее:

$$W = W_{\text{дет}} + W_{\text{ст}} = 0,208 + 0,2 = 0,408 \text{ мм/кг};$$

$$j = \frac{1}{W} 1000 = \frac{1000}{0,408} \approx 2450 \text{ кг/мм}.$$

Тогда

Чтобы определить изменение диаметра вала посередине при полученной податливости  $W$  системы, необходимо знать величину радиальной составляющей  $P_y$ .

Предположим, что обработка вала производится с глубиной резания  $t=4$  мм и подачей  $s=1$  мм/об. Тогда

$$P_z = C_p t s^{0,75} \text{ кг}.$$

При обработке стали с пределом прочности  $\sigma_B = 75$  кг/мм<sup>2</sup> можно принять  $C_p = 200$ . Тогда

$$P_z = 200 \cdot 4 \cdot 1 = 800 \text{ кг}.$$

Смещение детали в этом случае будет равно:

$$y = P_y W = 320 \cdot 0,408 = 130 \text{ мм}.$$

Следовательно, диаметр вала изменится на 0,26 мм, а диаметр детали в среднем сечении будет составлять 100,26 мм вместо заданных 100 мм.

## 24. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ СТАНКОВ

Существуют два метода экспериментального определений жесткости узлов станков: в процессе нагружения исследуемого узла статическими силами и непосредственно в процессе резания.

Статический метод определения жесткости станков применяется давно и в настоящее время хорошо известен. Жесткость узла определяется путем постепенного нагружения усилиями, соответствующими тем, которые возникают в процессе работы станка, и замеров деформации.

Этот метод имеет то преимущество, что он может быть использован непосредственно в процессе изготовления станка для получения необходимых характеристик жесткости того или иного узла и последующего увеличения жесткости недопустимо слабых узлов.

К недостаткам этого метода надо отнести то, что результаты определения жесткости могут значительно отличаться от истинных значений, так как здесь исключаются влияния целого ряда факторов, имеющих место только при резании. Кроме того, для правильного нагружения динамометра необходимо знать соотношение между усилиями  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , а это можно установить на основании экспериментов.

При производственном методе определения жесткости могут быть использованы две схемы:

- 1) определение жесткости при помощи одной заготовки, жесткость которой несоизмеримо велика по сравнению с жесткостью станка;
- 2) определение жесткости при помощи двух заготовок, жесткость одной из которых несоизмеримо велика по сравнению с жесткостью станка, а жесткость второй вполне соизмерима с жесткостью станка.

Рассмотрим первую схему определения жесткости.

На токарном станке, жесткость которого подлежит проверке, обрабатывают заранее подготовленную заготовку. Заготовка должна иметь установленный припуск, неравномерно распределенный либо в поперечном сечении относительно оси вращения, либо по длине. Эта неравномерность припуска может быть осуществлена за счет заранее принятой эксцентрисичности, крутой конусности или ступенчатости.

Предположим, что на токарном станке, жесткость которого подлежит проверке, обрабатывают заранее подготовленную заготовку, ось вращения которой смещена относительно оси наружной поверхности на величину эксцентриситета  $e$  (рис. 35).

В этом случае в течение каждого оборота заготовки резец будет работать с переменной глубиной резания, плавно изменяющейся от своего минимального значения  $t_2$  до максимального значения  $t_1$ .

Нам известно, что  $y = y_{ст} + y_{заг}$

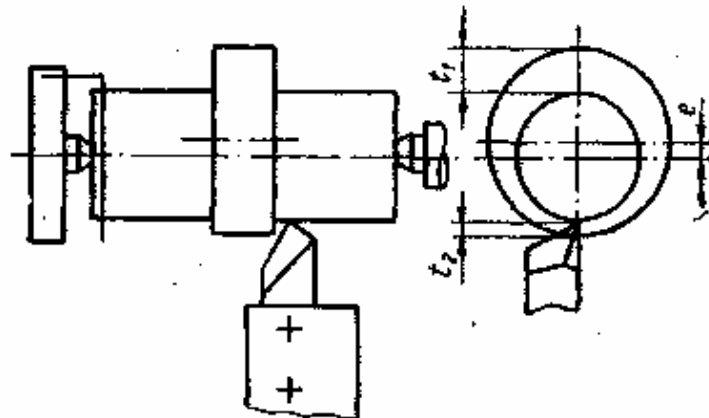


Рис. 35. Производственный метод определения жесткости токарного станка.

Так как мы обрабатываем заготовку с жесткостью  $U_{заг} j_{заг} = \infty$  то  $y_{заг} = 0$ , а поэтому

$$y = y_{ст}; \quad y_{ст} = \frac{P_y}{j_{ст}}; \quad P_y = kP_z; \quad P_z = C_p t^x s^y p.$$

При обработке стали примем  $x_p = 1$ , а  $y_p = 0,75$  и тогда получим:

$$P_y = k C_p t s^{0,75}.$$

Так как усилие резания изменяется прямо пропорционально глубине резания, то по такому же закону будет изменяться и деформация, т. е. отжатие заготовки относительно инструмента при обработке участков с глубиной резания  $t_1$  и  $t_2$ .



При обработке участка с глубиной резания  $t_1$  отжатие будет равно:

$$y_1 = \frac{kC_p t_1 S^{0,75}}{j_{ст}}$$

$$y_2 = \frac{kC_p t_2 S^{0,75}}{j_{ст}};$$

$$y_1 - y_2 = \frac{kC_p S^{0,75}}{j_{ст}} (t_1 - t_2);$$

$$j_{ст} = kC_p S^{0,75} \frac{t_1 - t_2}{y_1 - y_2}.$$

Величина  $t_2 - t_1$  представляет собой погрешность заготовки и может быть тщательно измерена до ее обработки. Величина  $y_1 - y_2$  — погрешность заготовки после обработки. Величину этих погрешностей определяют измерением детали после обработки.

Обозначив  $t_1 - t_2 = \Delta_3$  и  $y_1 - y_2 = \Delta_d$ , получим:

$$\epsilon = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}; j_{ст} = kC_p S^{0,75} \epsilon.$$

Отношение  $\epsilon = \Delta_3 / \Delta_d$  называется уточнением. Оно показывает, во сколько раз в результате обработки уменьшилась неточность детали.

## 25. СРЕДНЯЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Необходимая точность обработки поверхностей достигается на различных станках различными способами.

Наружные цилиндрические поверхности, например, можно получить путем точения на станках токарной группы, шлифованием и другими способами. Внутренние поверхности можно обработать точением, сверлением, зенкерованием и развертыванием, протягиванием, шлифованием и т. д.

Даже обработку отверстий, например, по 2-му классу точности можно осуществить различными способами — чистовым развертыванием, протягиванием, шлифованием, доводкой, хонингованием и т. п.

Если считать, что все перечисленные способы являются равноценными в отношении возможности гарантирования требуемой точности и чистоты поверхности, то каждый из них далеко не в одинаковой степени обеспечивает наименьшую затрату труда и наименьшую стоимость обработки.

Следовательно, выбирая способ обработки, необходимо учитывать

экономическую целесообразность, т. е. надо исходить из так называемой экономической точности обработки.

Под экономической точностью обработки понимают такую точность, для достижения которой затраты при данном способе обработки будут меньше затрат, чем при применении другого способа обработки той же поверхности.

Под достижимой точностью обработки понимают точность, которая может быть получена при обработке заготовки высококвалифицированным рабочим на станке, находящемся в отличном состоянии, при неограниченных затратах труда и времени на обработку.

Экономическая точность обработки цилиндрических наружных поверхностей достигается следующими способами: 5-й класс — при черновом точении на станках токарной группы, 4-й класс — при чистовом точении, 3-й класс — при предварительном круглом шлифовании, 2-й класс — при чистовом шлифовании, 1-й класс и точнее — при доводке.

Экономическую точность обработки внутренних поверхностей можно получить способами: 5-й класс — сверлением без кондуктора, черновым зенкерованием и растачиванием резцом; 4-й класс — сверлением по кондуктору; рассверливанием, зенкерованием и растачиванием резцов; 3-й класс — черновым развертыванием и черновым шлифованием, 2-й класс — протягиванием, чистовым развертыванием, шлифованием и хонингованием, 1-й класс — ручным развертыванием и доводкой.

В большинстве случаев при разработке технологических процессов пользуются табличными данными средней экономической точности, которые приведены в технологических справочниках. Необходимо заметить, что эти данные можно рассматривать лишь как первое приближение к решению поставленной задачи. Оборудование и методы работы, применяемые на передовых заводах машиностроения, в большинстве случаев позволяют выдерживать размеры в пределах значительно более узких допусков, чем это указано в справочных таблицах.

## 26. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ

**Виды погрешностей.** Погрешности, возникающие при механической обработке, можно разбить на три вида: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся и случайные.

Систематические постоянные погрешности не изменяются в течение одной настройки станка. К такого рода погрешностям можно отнести, например, такие: деформацию тонкостенных деталей под воздействием зажимного усилия постоянной величины; конусность, вызываемую несопадением центров бабок в горизонтальной плоскости при обработке деталей типа валов на токарном станке; неперпендикулярность оси просверленного отверстия к базовой плоскости и заготовке из-за неперпендикулярности оси шпинделя к плоскости стола станка и т. п.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически. Погрешность, вызываемая размерным

износом режущего инструмента, является примером ие прерывно изменяющейся погрешности. Примером периодически действующей погрешности может служить , возникающая в результате температурной деформации станка в период его пуска до достижения состояния теплового равновесия.

Случайные погрешности имеют различное значение даже для деталей одной и той же партии. Эти погрешности вызываются случайными причинами или действиями многих факторов, влияние которых на процесс обработки имеет случайный характер. Примерами случайных погрешностей могут служить: неточное закрепление заготовки в приспособлении, неоднородность и неодинаковая твердость обрабатываемого материала, колебания величин припуска и т. п.

Систематические и случайные погрешности приводят к тому, что действительные размеры деталей станут переменными, т. е. будет иметь место рассеивание размеров. Суммарную погрешность обработки определяют, расчетным или статистическим методом. Наиболее широко применяется статистический, основанный на определении суммарной погрешности путем измерения обработанных деталей и анализа результатов измерения методом математической статистики.:

**Кривые распределения и оценка точности на их основе.** Первые эксперименты по применению статистики для исследования вопросов точности механической обработки основывались на методе изучения кривых распределения.

Кривая распределения строится следующим образом. Предположим, что при каком-либо установившемся технологическом процессе, проводимом в нормальных цеховых условиях, мы обработали партию деталей, например, до диаметра  $50_{-0,06} \text{ мм}$ , а затем замеры их измерительным инструментом с точностью до  $1 \text{ мкм}$ . Измеренные детали разложены по группам с одинаковыми размерами или отклонениями в пределах определенного интервала. Теперь полученные результаты наносят графически (рис. 37). По оси абсцисс откладывают номера групп с одинаковыми размерами или отклонениями, а по оси ординат — число деталей с одинаковыми размерами (частота случаев). Соединив точки прямыми, получим ломаную линию. При большом количестве деталей в партии и числе интервалов эта ломаная линия приближается к кривой, которая носит название кривой, распределения размеров.

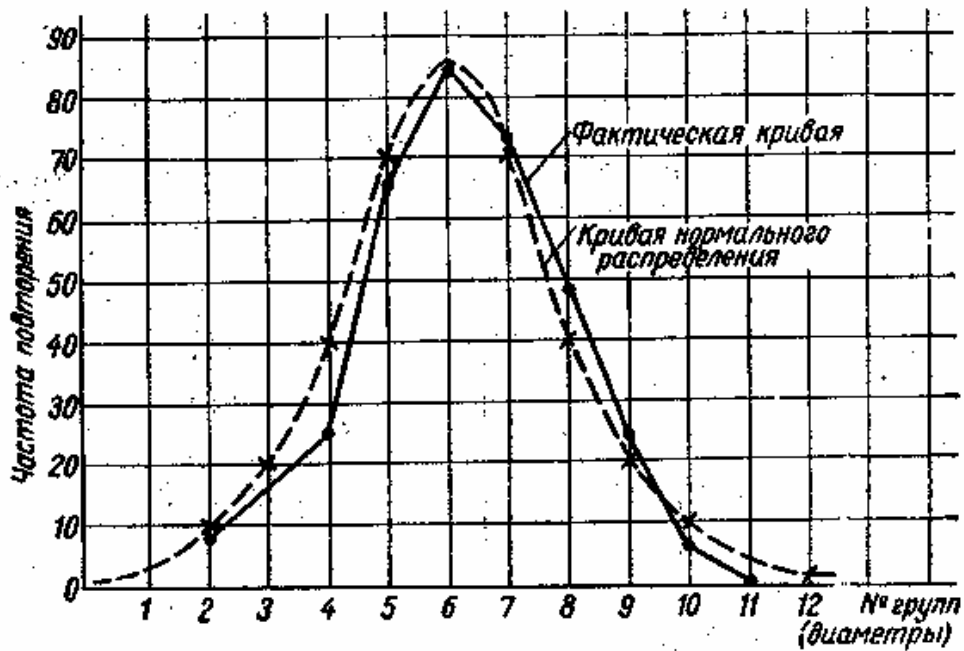


Рис. 37. Кривая рассеивания (распределения) размеров.

Вместо количества деталей, находящихся в пределах каждого интервала, можно откладывать отношение этого количества к общему количеству деталей в обследуемой партии.

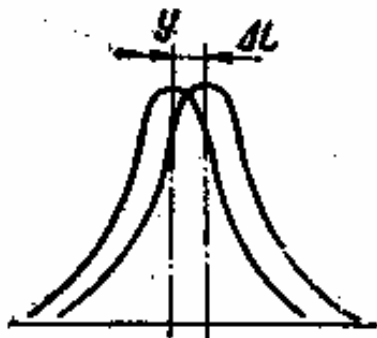


Рис. 38. Смещенные кривые рассеивания размеров.

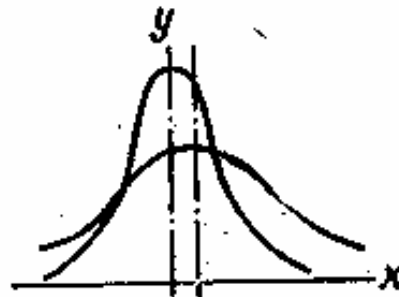


Рис. 39. Различные формы кривых рассеивания.

Это отношение в теории вероятностей носит название относительной частоты, или частоты. Разность между наибольшим и наименьшим размерами деталей данной партии определяет величину случайных погрешностей. Величина рассеивания (погрешность) должна быть не больше допуска на обработку.

Систематическая погрешность постоянного характера в пределах партии на форму кривой распределения размеров влияния не оказывает; она вызывает смещение всей кривой в направлении оси абсцисс (рис. 38).

Переменная систематическая погрешность (износ инструмента) при описанном методе построения кривой распределения оказывает влияние на форму (рис. 39).

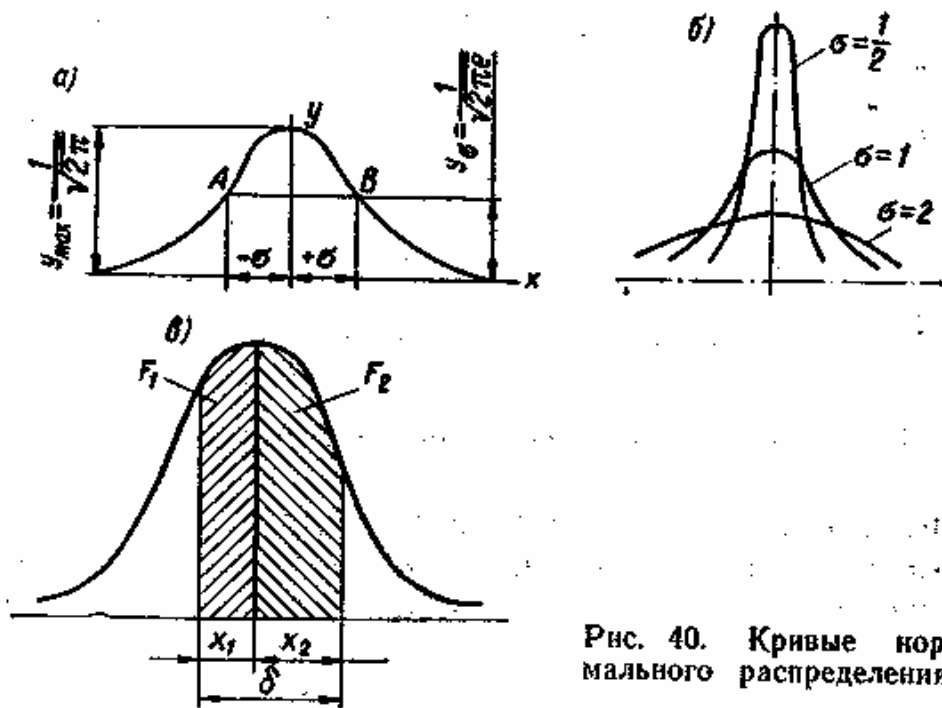


Рис. 40. Кривые нормального распределения.

Это объясняется тем, что поля рассеивания предельных размеров получились различными вследствие различной величины размерного износа инструмента. Исследование кривых распределения для многих операций механической обработки, выполняемых на настроенных станках, показали, что распределение размеров приблизительно подчиняется закону нормального распределения, который графически изображается кривой Гаусса (рис. 40,а). Кривая Гаусса изображается следующим уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $x$  — отклонение действительных размеров от средних:  $x = L_i - L_{cp}$ . (Здесь  $L_i$  — действительные размеры,  $L_{cp}$  — средние размеры). Кривая симметрична относительно начала координат ( $x = 0$ ); при  $x = 0$  ордината имеет максимальное значение  $y_{max} = 1/\sigma \cdot \sqrt{2\pi}$ ; при  $x = \pm\sigma$  кривая имеет две точки

перегиба ( $AB$  на рис. 40).

Чтобы использовать закон нормального распределения для выражения действительного закона распределения, необходимо определить средний размер и среднее квадратическое отклонение.

Средний размер составляет:

$$L_{cp} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n},$$

где  $L_1, L_2 \dots L_n$  — размеры отдельных деталей;

$n$  — количество деталей в партии. Среднее квадратическое отклонение равно:

$$\sigma = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}},$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — отклонение действительных размеров от средних.

Точку на оси абсцисс, соответствующую  $L_{\text{ср}}$ , принимаем за начало координат. Определив  $L_{\text{ср}}$  и  $\sigma$ , строим кривую, имеющую те же параметры, которые мы получили непосредственно из данных измерения деталей.

В зависимости от значения  $\sigma$  кривые имеют различный вид (рис. 40,6). Чем меньше  $\sigma$ , тем уже кривая (рассеивание размеров меньше); чем больше  $\sigma$  — тем кривая более растянута (рассеивание размеров больше).

Установлено, что в интервале абсциссы кривой  $x = \pm 0,36 * \sigma$  находится 35% всех обрабатываемых деталей, в интервале  $x = \pm 0,76 * \sigma$  — 50% и в интервале  $x = \pm 3 * \sigma$  — 99,7%.

Следовательно, отклонения действительных размеров от среднего размера находятся в пределах от +30 до —30, т. е. абсолютная величина отклонения равна 60.

**Вероятность обеспечения заданного допуска.** Пользуясь кривой распределения, можно найти вероятное количество годных деталей, на размер которых установлен допуск  $\sigma$ . Для этого надо нанести на график (рис. 40, в) распределения в принятом масштабе величину поля заданного допуска и через концы соответствующего отрезка провести ординаты до пересечения с кривой распределения. Вероятно, количество годных деталей определяется в этом случае отношением заштрихованной площади  $F_1 + F_2$  ко всей площади  $F$ , заключенной между кривой и осью абсцисс.

## Глава 7 КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

### 27. ПОНЯТИЕ О КАЧЕСТВЕ ПОВЕРХНОСТИ

После механической обработки режущий инструмент оставляет на обработанной поверхности неровности в виде гребешков и впадин.

Высота и форма, а также характер расположения и направления неровностей обрабатываемых поверхностей зависят от режима обработки, условий охлаждения и смазки, геометрических параметров режущего инструмента, обрабатываемого материала, жесткости технологической системы и т. д.

Одновременно с образованием неровностей изменяется и структура поверхностного слоя. Поверхностный слой испытывает пластические деформации и приобретает наклеп, твердость его повышается, возникают внутренние

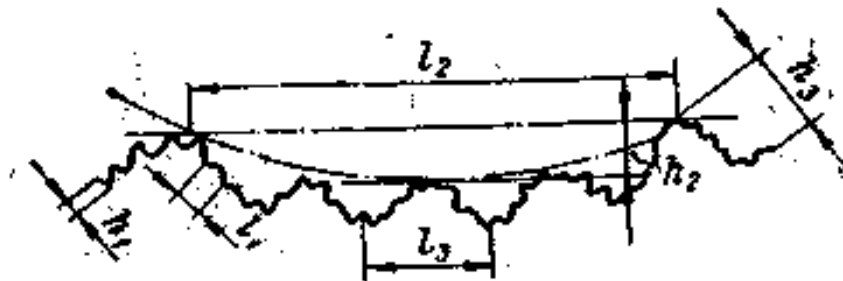
напряжения.

Степень наклепа металла и глубина проникновения пластических деформаций зависят от способа обработки и режимов резания.

Следовательно, качество поверхностей деталей машин характеризуется шероховатостью поверхности (иначе — чистотой или гладкостью поверхности), а также физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Шероховатость поверхности определяется высотой и характером микронеровностей, или так называемой микрогеометрией поверхности. Микрогеометрия и рассматривается как геометрическое представление в ферме реальной поверхности на малом ее участке. Для микрогеометрии характерно наличие сравнительно небольших нег ровностей, расположенных в определенной более или менее закономерной последовательности. Это позволяет на основе результатов измерения небольшого участка поверхности судить о степени шероховатости всей обработанной поверхности.

Ориентировочно можно считать, что отношение шага шероховатостей  $l_1$  к их высоте  $h_1$  (рис. 41) не превышает 50. Поверхности, обработанные металлорежущими инструментами, имеют шероховатость продольную — в направлении главного движения резания и поперечную — в направлении движений подачи. Различные способы обработки образуют различную ориентацию и характер получающихся микронеровностей. Для большинства способов характерно то, что поперечная шероховатость всегда, больше продольной. Поэтому поперечная шероховатость и является основным критерием микрогеометрии поверхности.



**Рис. 41. Макро- и микрогеометрия поверхности.**

Профиль реальной поверхности характеризуется также макрогеометрическими отклонениями от правильной геометрической формы (овальность, конусность, бочкообразность и т. д.). Эти отклонения являются единичными, не повторяющимися на протяжении всей рассматриваемой поверхности. У макрогеометрических отклонений значительна величина соотношения между протяженностью поверхности  $l_2$  и соответствующим отклонением  $h_2$  (рис. 41), определяемая неравенством  $l_2/h_2 > 1000$ .

Между погрешностями микро- и макрогеометрического характера промежуточное положение занимает волнистость. Она заключается в наличии на поверхности многократно и закономерно повторяющихся более или менее одинаковых волн. В большинстве случаев эти волны имеют близкий к синусоидальному характер и соотношение между шагом  $l_3$  и высотой  $h_3$  обычно находится в пределах от 150 до 500 (см. рис. 41).

## 28: КРИТЕРИЙ И КЛАССИФИКАЦИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ

### ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрим основные понятия и определения, относящиеся к геометрической форме поверхности (ГОСТ, 2789-59).

Реальная поверхность — это поверхность, ограничивающая тело. Реальная поверхность может быть получена только в процессе изготовления деталей. Неровности — выступы и впадины реальной поверхности.

Геометрическая поверхность (1 на рис. 42) — поверхность заданной геометрической формы, не имеющая неровностей и отклонений формы.

Измеренная поверхность 3 — поверхность, воспроизведенная в результате измерения реальной поверхности.

Реальный профиль — сечение реальной поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении по отношению к геометрической поверхности. Сечение поверхности плоскостью может быть произведено под любым углом по отношению к геометрической поверхности.

Например, на рис. 42 профиль *АВ* образован сечением поверхности плоскостью, ориентированной по отношению к геометрической поверхности под углом  $\alpha$ , а профили *ВВ*, *ВГ* и *ГД* получены сечением поверхности плоскостями, перпендикулярными к поверхности.

Секущая плоскость, как правило, располагается перпендикулярно направлению следов обработки, при этом образуется профиль поперечной шероховатости (*ВВ* и *ГД*). Если секущая плоскость совмещена с направлением следов обработки, то образуется профиль продольной шероховатости (*ВГ* и *ДА*).

Геометрический профиль — сечение геометрической поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении по отношению к этой поверхности. При изготовлении деталей машин стремятся получить идеальный геометрический профиль 2 (см. рис. 42).

Измеренный профиль 4 — сечение измеренной поверхности плоскостью, ориентированной в заданном направлении по отношению к геометрической поверхности.

Графическое изображение измеренного профиля называется профилограммой.

Шаг неровностей — расстояние между вершинами характерных неровностей измеренного профиля.





Рис. 43. Профиль поверхности.

Базовая длина  $l$  — длина участка поверхности, выбираемая для измерения шероховатости без учета других видов неровностей, имеющих шаг более  $l$  (рис. 43).

Профиль поверхности, имеющий три вида неровностей, приведен на рис. 43, а. На профиле выбраны участки, равные базовой длине  $l$ , на которых наблюдается только шероховатость поверхности, т. е. в данном случае шероховатость отделена от других видов отклонений с шагом, большим  $l$ . Шероховатость спрямленных выбранных участков поверхности, равных базовой длине  $l$ , приведена на рис. 43, б. Волнистость этой же поверхности, имеющая длину волны  $\lambda > l$ , приведена на рис. 43, в. Погрешность формы, имеющая шаг больше  $\lambda$ , приведена на рис. 43, г.

Шероховатость поверхности — совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах, участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине  $l$ . Шероховатость поверхности образуется в результате обработки независимо от метода и может представлять собой сочетание наложенных друг на друга неровностей с различными шагами.

Длина участка измерения — минимальная длина участка поверхности, необходимая для надежного определения характеристик шероховатости, включающая в себя одну или несколько базовых длин.

Средняя линия профиля  $m$  (рис. 44) — линия, имеющая форму геометрического профиля и деля-



Рис. 44. Микропрофиль поверхностных неровностей.

шая измеренный профиль таким образом, что в пределах базовой длины сумма квадратов расстояния ( $y_1 y_2 \dots y_n$ ) точек профиля для этой линии минимальная.

Средняя линия профиля служит базовой для определения числовых значений шероховатости.

При определении положения средней линии на профилограмме допускается использовать следующее условие: средняя линия должна иметь направление измеренного профиля и делить его таким образом, чтобы в пределах базовой длины площади по обеим сторонам от этой линии до линии профиля были равны между собой (рис. 44):

$$F_1 + F_3 + \dots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_n.$$

Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  — среднее значение расстояний ( $y_1, y_2 \dots y_n$ ) точек измеренного профиля до его средней линии.

Расстояния до средней линии суммируются без учета алгебраического знака.

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n}.$$

Для практических целей рекомендуется приближенная формула:

Высота неровностей  $R_z$  — среднее расстояние между находящимися в пределах базовой длины пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин, измеренное от линии, параллельной средней линии

$$R_z = \frac{(h_1 + h_3 + \dots + h_9) - (h_2 + h_4 + \dots + h_{10})}{5}.$$

Критерий шероховатости поверхности  $R_z$  также является усредненной характеристикой высоты неровностей, но неравноценен  $R_a$ . Последний уступает  $R_z$  по точности, так как критерий  $R_z$  определяется как среднее значение из гораздо большего числа точек, чем критерий  $R_a$ . Поэтому критерий  $R_a$  рекомендуется применять в случае, когда необходимо быстро произвести оценку шероховатости поверхности с невысокой точностью измерения.

ГОСТ устанавливает 14 классов чистоты поверхности, для которых максимальное числовое значение шероховатости  $R_a$  или  $R_z$  при базовых длинах  $l$  должно соответствовать указанным в табл. 10.

Для treug 6— treug 12 классов основной является шкала  $R_a$ , а для treug 1 — treug 5 и treug 13 — treug 14 классов — шкала  $R_z$ .

Допускается измерение шероховатости поверхности treug 6— treug 12 классов по параметру  $R_z$  и treug 1 — treug 5 и treug 13 — treug 14 классов — по параметру  $R_a$ .

Измерение шероховатости поверхности должно производиться в направлении, которое дает наибольшее значение  $R_a$  или  $R_z$ , если не указано определенное направление измерения.

Классы чистоты поверхности с 6-го по 14-й разделяются на разряды (табл. 11).

Для обозначения всех классов чистоты поверхности устанавливается один знак — равносторонний треугольник treug, а рядом с ним указывается номер класса

Таблица 10

**Классы чистоты поверхности**  
(по ГОСТ 2789-59)

Класс чистоты поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a$ , в мкм (не более)	Высота неровностей $R_z$ , в мкм (не более)	Базовая длина $l$ , в мм
1	80	320	8
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	
5	5	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	
8	0,63	3,2	
9	0,32	1,6	0,25
10	0,16	0,8	
11	0,08	0,4	
12	0,04	0,2	
13	0,02	0,1	0,08
14	0,01	0,05	

Таблица 11

**Разряды классов чистоты поверхности**

Класс чистоты поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a$ , в мкм (не более)			Высота неровностей $R_z$ , в мкм (не более)		
	Разряды					
	а	б	в	а	б	в
6	2,50	2,00	1,60	10,0	8,0	—
7	1,25	1,00	0,80	6,3	5,0	4,0
8	0,63	0,50	0,40	3,2	2,5	2,0
9	0,32	0,25	0,20	1,6	1,25	1,0
10	0,16	0,125	0,10	0,8	0,63	0,5
11	0,08	0,063	0,05	0,4	0,32	0,25
12	0,04	0,032	0,025	0,2	0,16	0,125
13	0,02	0,016	0,012	0,1	0,08	0,063
14	0,01	0,008	0,006	0,05	0,04	0,032

или номер класса и разряд (например: treug 7, treug 7б).

Числовое значение шероховатости поверхности ограничивает только максимальную величину шероховатости по параметру  $R_a$  или  $R_z$ . В тех случаях, когда требуется ограничить максимальную и минимальную величины шероховатости, в обозначении должны указываться два номера классов или разрядов: например, treug 9— treug 10 обозначает, что шероховатость по  $R_a$  должна быть не менее 0,16 и не более 0,32 мкм; treug 9б — treug 9в указывает, что она должна быть не менее 0,2 и не более 0,25 мкм.

Шероховатость поверхностей грубее 1-го класса, установленного настоящим стандартом, обозначается знаком V (ГОСТ 2940-52), над которым указывается высота неровностей  $R_z$ , в мкм (например, 500).

Числовое значение  $R_z$  выбирается из ряда R10 по ГОСТ 8032-56.

## 29. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Существует большое разнообразие приборов для измерения шероховатости поверхности.

По способу измерения все приборы могут быть подразделены на две группы: контактные (щуповые) и бесконтактные.

Контактные (щуповые) приборы. Сущность контактных приборов заключается в том, что по контролируемой поверхности перемещается игла (алмазная или стальная), вертикальные перемещения которой, соответствующие высотам микронеровностей, увеличиваются электрическим, оптическим, пневматическим или механическим способом и регистрируются отсчетными устройствами.

Контактные приборы делятся на профилометры, осуществляющие количественную оценку шероховатости поверхности, и профилографы, предназначенные для получения профилограммы контролируемой поверхности. Существуют также комбинированные приборы, выполняющие одновременно функции профилометра и профилографа.

Независимо от схемы преобразования осевого перемещения иглы ГОСТ 9504-60 распространяется на профилометры, непосредственно показывающие средние арифметические отклонения профиля поверхности, и профилографы, записывающие профиль поверхности и позволяющие получать профилограмму.

По ГОСТу 9504-60 допускается объединение профилометра и профилографа в одном приборе при соблюдении всех требований к профилометру и к профилографу в отдельности.

Ощупывающие системы приборов должны обеспечивать измерение неровностей с наибольшими шагами  $V_{\max}$ , соответствующими с точностью до  $\pm 10\%$  числовым значениям базовых длин, указанных в ГОСТе 2789-59.

Величина наименьшего шага неровностей  $V_{\min}$ , учитываемых прибором, должна быть в пределах 2—3 мкм. Для профилометров типа П-16 допускается увеличение наименьшего шага неровностей до 5 мкм.

Приборы могут изготавливаться с ощупывающими системами, имеющими опоры, базирующиеся на контролируемую поверхность, или с ощупывающими системами, базирующимися на независимые поверхности.

Приборы должны быть снабжены электродвигателем для перемещения ощупывающей системы,

Профилометром цеховым мод. 240 определяют шероховатости поверхностей деталей из стали, чугуна, цветных металлов и их сплавов, а также неметаллических деталей и покрытий в пределах 6—12-го классов чистоты. Прибор позволяет проверять наружные и внутренние поверхности деталей, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию.

Действие прибора основано на принципе ощупывания контролируемой поверхности алмазной иглой с радиусом сферы 10 мкм. Величина шероховатости определяется посредством стрелочного показывающего прибора по параметру  $R_a$  (среднее арифметическое отклонение микронеровностей от средней линии профиля). Длина трассы ощупывания — 3,2 мм; скорость трассирования -1,06 мм/сек; базовая

длина — 0,25 и 0,8 мм.

Прибор применяется в цеховых контрольных пунктах, а также непосредственно на рабочих местах.

Прибор завода «Калибр» укомплектован стойкой с призмой для установки цилиндрических деталей, специальной стойкой и опорой для проверки шероховатости непосредственно на станке или на рабочем месте.

Приборы пружинные мод. ИПШ предназначены для определения шероховатости плоских поверхностей, а также наружных и внутренних цилиндрических поверхностей диаметром свыше 60 мм — деталей из любого материала с твердостью не ниже 80 единиц по *HV*. Пружинные приборы моделей 2ИПШ, 1ИПШ и 02ИПШ изготавливает Ленинградский инструментальный завод. Прибором мод. 2ИПШ определяют шероховатость 4—5-го, приборами мод. 1ИПШ — 6—7-го и мод. 02ИПШ — 8—9-го классов чистоты.

Приборы состоят из пружинной измерительной головки и комплекта приспособлений. Головка снабжена тремя сферическими опорами. Алмазная игла с радиусом закруглений 10 мкм расположена в отверстии одной из опор.

Результаты непосредственного измерения высоты неровностей позволяют определить величину  $R_a$ .

Благодаря высокой точности, малым размерам и незначительному весу (0,15 кг) головка может быть применена для определения шероховатости в цеховых и лабораторных условиях.

Профилограф-профилометр мод. 201 предназначен для определения шероховатости и волнистости поверхности деталей из любых материалов. Прибор позволяет проверять наружные и внутренние поверхности деталей, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию.

Действие прибора основано на принципе ощупывания исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом 2 или 10 мкм и преобразования колебаний иглы в изменения напряжения индуктивным методом.

Определение величин и профиля микронеровностей поверхности производится по профилограмме, записанной в прямоугольных координатах. Пределы измерения при записи профилограмм — 5—12-й классы чистоты.

По показаниям стрелочного прибора определяется величина в пределах 5—12-го классов. Прибор позволяет производить измерения шероховатости поверхности с различными длинами трассы интегрирования, что значительно расширяет его эксплуатационные возможности.

Длина трассы ощупывания до 40 мм дает возможность проверять волнистость поверхности с большим шагом.

Прибор укомплектован набором твердосплавных опор к датчику для различных видов работ, приспособление и для проверки волнистости и диаграммной бумагой для записи.

Бесконтактные (оптические) приборы делятся на приборы светового сечения и интерференционные.

Принципиальная схема прибора светового сечения приведена на рис. 45. Освещенная узкая щель

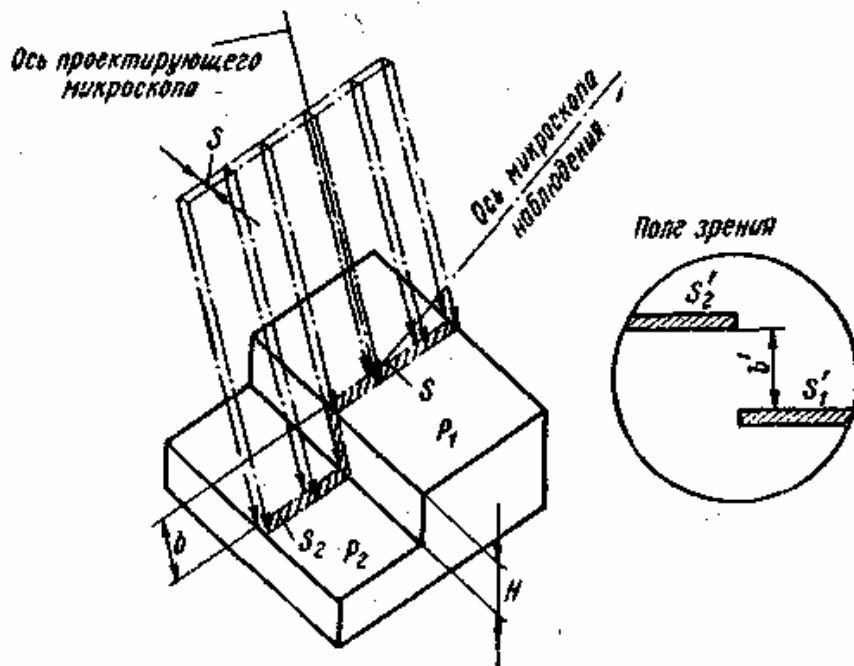


Рис. 45. Схема прибора светового сечения.

проецируется микроскопом на ступенчатую поверхность  $P_1P_2$ . Направление падения света показано стрелками. При таком падении света изображение светящейся щели на ступенчатой поверхности займет положение  $S_2$  на нижней части ступени  $P_2$  и положение  $S_1$  — на верхней части ступени  $P_1$ . В поле зрения микроскопа наблюдения, расположенного под углом  $90^\circ$  к оси проектируемого микроскопа, видна не высота выступа  $H$ , измеряемая по нормали к поверхностям  $P_1$  и  $P_2$ , а ее проекция  $b$ .

Микроскоп МИС-11 предназначен для измерения шероховатости поверхности от 3-го до 9-го классов чистоты.

Прибор (рис. 46) состоит из двух частей: микроскопа  $M_{пр}$  для освещения исследуемой поверхности и микроскопа  $M_e$  для наблюдения и измерения профиля поверхности. Оси обоих микроскопов наклонены под углом  $45^\circ$  к исследуемой поверхности с совпадением точек пересечения осей с предметными точками объективов.

Пучок света от источника  $1$  через конденсор  $2$  и узкую щель диафрагмы  $3$  проходит в систему линз  $4$  и  $5$ , которая проецирует изображение  $S_i$  щели диафрагмы на проверяемую поверхность  $b$  ( $P$ ) в виде узкой светящейся линии.

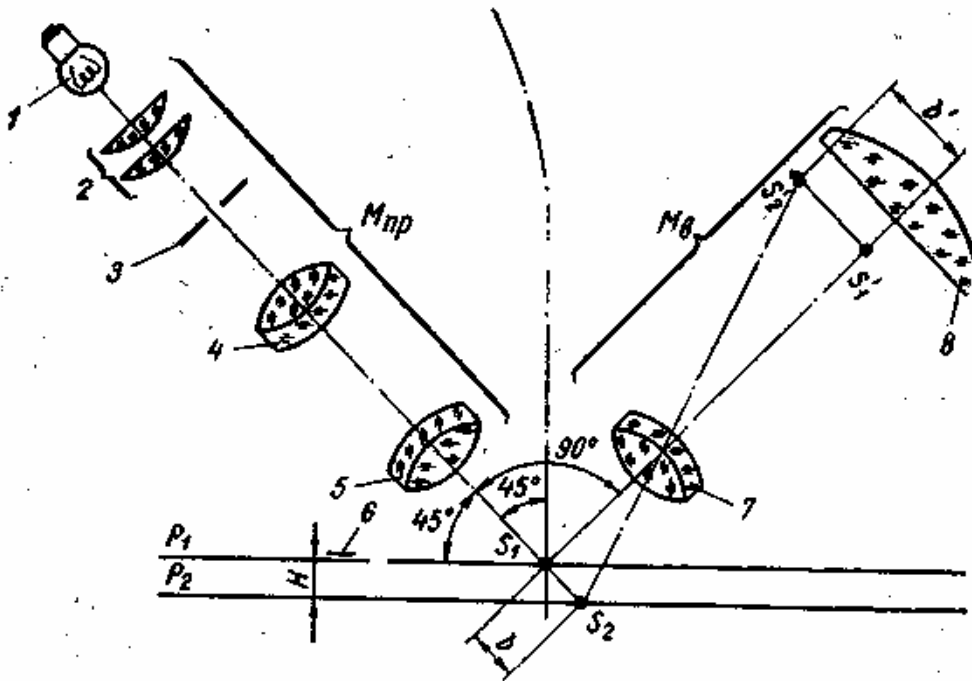


Рис. 46. Оптическая схема двойного микроскопа МИС-11.

Если на исследуемой поверхности  $b$  отсутствуют микронеровности, то объектив 7 микроскопа  $M_B$  в плоскости сетки окуляра 8 дает изображение  $S_1$  той же узкой светящейся линии микронеровностей  $H$  часть пучка света, отраженная от участка поверхности  $P_2$ , при наблюдении будет казаться выходящей из точки  $S_2'$ . Тогда изображение точки  $S_2'$  на сетке окуляра 8 будет находиться на расстоянии  $b'$  от оси микроскопа  $M_B$ , равном

Но так как

$$b = \frac{H}{\cos 45^\circ} = H\sqrt{2},$$

то  $b' = koren2xH$ , где  $H$  — действительная высота неровностей по нормали к поверхности.

Для измерения высоты неровностей в микроскопе  $M_B$ , установлен окулярный микрометр.

Двойной микроскоп В. П. Линника позволяет также фотографировать исследуемую поверхность с высотой неровностей от 0,9 до 60 мкм.

М и к р о с к о п М И И - 4 предназначен для измерения шероховатости поверхности в пределах 10—14-го классов.

На рис. 47 приведена оптическая схема интерференционного микроскопа МИИ-4. От источника белого света 5 световой пучок, пройдя конденсор 4, попадает на зеркало 3, от которого через диафрагму 6 и объектив 7 направляется на разделяющую призму 11, склеенную из двух призм. Диагональная плоскость одной из этих призм посеребрена, что делает призму полупрозрачной. Это необходимо для разделения пучка света на два. Один пучок проходит через призму без преломления, а затем, пройдя через объектив 12, попадает на зеркало 13, служащее образцовой плоскостью. Отразившись от зеркала 13, пучок света возвращается на призму 11, отражается ее диагональной плоскостью и направляется через объектив 10 на зеркало 15.

Второй пучок света отклоняется диагональной плоскостью призмы 11 и направляется через клин 8 и объектив 9 на контролируемую поверхность детали, помещенную в фокусе этого объектива. Отразившись от контролируемой поверхности, пучок света вновь проходит через призму 11 и далее через объектив 10 на зеркало 15, где интерферируется с первым пучком. Полученную интерференционную картину наблюдают через окуляр 14. Компенсационный клин 8 служит для уравнивания разности хода лучей в стекле призмы.

При измерении шероховатости поверхности с регулярно расположенными неровностями рекомендуется работать с монохроматическим светом, при котором интерференционная картина располагается по всему полю зрения. Для получения монохроматического света (например, зеленого) пользуются ртутной лампой 1 и светофильтром 2. В этом случае зеркало 3 убирается с пути прохождения монохроматического света.

Когда измеряются беспорядочно расположенные неровности (при доводке или шабрени), более целесообразно работать с белым светом, при этом в поле зрения микроскопа будет видна белая полоса, а по сторонам от нее — две темные и несколько цветных полос. Наибольшее число видимых в поле зрения полос облегчает при беспорядочном расположении неровностей производить оценку степени их изгиба и, следовательно, повышает надежность результатов измерения. При измерении в белом свете обычно ориентируются на черные полосы.

При фотографировании интерференционной картины контролируемой поверхности зеркало 15 (см. рис. 47) отводится в сторону, а лучи света от объектива 10 направляются через фотообъектив 16 на зеркало 17 и от него на матовое стекло или фотопластинку 18.

На приборе можно производить измерение интерференционных полос для последующего определения высот неровностей контролируемой поверхности. В этом случае обычный окуляр 14 заменяется окуляр-микрометром.

Интерферограмма контролируемой поверхности приведена на рис. 48, а, а схема измерения неровностей — на рис. 48, б. Каждая интерференционная полоса является геометрическим местом точек с одинаковой разностью хода двух лучей от одного источника. Если бы контролируемая поверхность являлась идеально гладкой, то интерференционная картина представляла бы собой ряд параллельных прямых полос. Искривление полос вызывается микронеровностями контролируемой поверхности.

Высоту микронеровностей определяют по следующей формуле:

$$R_z = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где  $a$  — величина искривления интерференционных полос (см. рис. 48, б);

$b$  — интервал между одноименными полосами;  $\lambda$  — длина световой волны (для зеленого света

$$\lambda = 0,55 \text{ мкм}).$$

Измерение на микроскопе параметров  $a$  и  $b$  можно производить с помощью окулярного микromетра. Относительные погрешности измерения на микроскопе при отсчете с помощью окулярного микromетра не превышают  $\pm 5\%$ .



### 30. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Эксплуатационные характеристики деталей машин, такие, как износостойчивость, усталостная прочность и антикоррозийная стойкость, зависят от качества поверхности детали. Значительное влияние качество поверхности оказывает и на характер подвижных и прочность неподвижных посадок.

Износостойчивость. Обработать поверхности абсолютно гладко невозможно, — даже при любой обработке на поверхности остаются неровности. При взаимном сопряжении двух поверхностей они соприкасаются друг с другом лишь по вершинам неровностей. В связи с этим реальная опорная поверхность всегда отличается от расчетной. В соответствии с этим удельное давление превышает расчетное, что вызывает смятие, а для трущихся пар — срезание вершин неровностей. Так как трущиеся поверхности соприкасаются в отдельных выступающих точках, смазка в этих местах выдавливается, и возникает сухое трение. В начальный период работы двух трущихся поверхностей происходит интенсивное срезание гребешков — выступов неровностей.

Зависимость износа трущихся поверхностей от продолжительности работы показана на рис. 49.

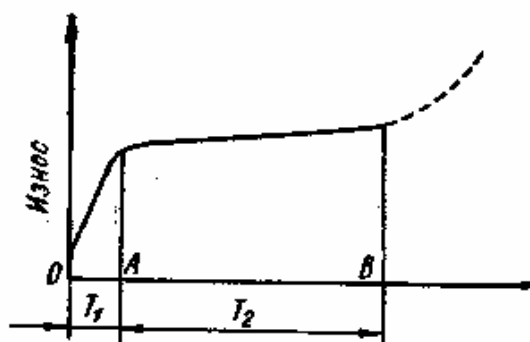


Рис. 49. Схема процесса износа.

За период времени  $T_1$  происходит наиболее ускоренный процесс истирания выступов неровностей. В этот период времени поверхности прирабатываются. В период времени  $T_2$  процесс истирания (износа) протекает медленнее, и этот период времени соответствует нормальным условиям эксплуатации и по существу определяет срок службы детали.

В зависимости от качества поверхности и качества обрабатываемого материала длительность периодов  $T_1$  и  $T_2$  различна. Величина начального износа трущихся поверхностей больше, чем величина износа за весь дальнейший срок службы.

При резком увеличении износа в конце периода  $T_2$  (см. пунктирную часть кривой на рис. 49) нормальная работа трущихся поверхностей нарушается. Это вызывается увеличением зазора свыше допустимого, заеданием поверхностей, их сплавлением, свариванием или даже полным разрушением.

С целью возможного уменьшения первичного износа и увеличения срока службы детали необходимо рабочие поверхности тщательно обрабатывать шлифованием,

хонингованием, доводкой и другими отделочными способами.

На износ влияет также и направление штрихов, образованных в процессе обработки. Поэтому во многих случаях приходится выбирать такую отделочную операцию, которая обеспечивает определенное, наиболее выгодное ориентирование штрихов по отношению к направлению трущихся поверхностей.

На износ деталей машин влияют не только микронеровности, но и волнистость и физико-механические свойства поверхностного слоя.

**Прочность деталей.** Качество поверхности оказывает существенное влияние на прочность деталей, в особенности при переменных нагрузках. При переменной нагрузке разрушение берет начало от мелких поверхностных трещин. Эти трещины, риски и т. п. вызывают неравномерное распределение и концентрацию напряжений.

Наиболее вредное влияние оказывает направление рисок и надрезов, перпендикулярных к направлению действия нагрузок.

Для повышения усталостной прочности деталей, подвергающихся действию циклических нагрузок, необходимо обрабатывать до высокого класса чистоты даже нерабочие поверхности.

Повышается прочность металла при обработке давлением в холодном состоянии — обкатка и раскатка шариками и роликами. В результате обработки давлением создается наклеп, который вызывает появление остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое. Поверхностный наклеп при холодной обработке давлением повышает усталостную прочность на 20—25% при изгибе и на 50% — при кручении.

**Антикоррозийная стойкость.** Давно известно, что чем лучше обработана поверхность, тем при прочих равных условиях она меньше поддается коррозии.

Неровности на обработанной поверхности приводят к быстрому разрушению металла коррозией, вызываемой атмосферным влиянием и действием различных жидкостей и газов.

Действие корродирующих веществ, собирающихся на дне впадин неровностей (рис. 50) поверхности, распространяется в направлениях, указанных стрелками.

Под действием коррозии первоначальные выступы неровностей отделяются от основной массы металла.

Затем на поверхности металла снова образуются вторичные неровности, и коррозия начинает распространяться от новых впадин, вследствие чего образуется следующий слой неровностей, и т. д.

При трущихся деталях коррозия усиливает износ.

Когда по условиям эксплуатации машин невозможно использование стойких против коррозии металлов или защитных покрытий, добиваются повышения чистоты поверхности, что в свою очередь способствует повышению противокоррозийной стойкости деталей.

**Качество посадок.** При установлении допусков на механическую обработку исходят из того, что зазоры в местах соединения деталей не должны выходить за пре-



Рис. 50. Схема разрушения металла от коррозии.

делу данного узла. Уже после непродолжительной работы вследствие истирания неровностей фактические зазоры в соединении возрастают на величину начального износа.

Например, при обработке деталей диаметром 20 мм по скользящей посадке 2-го класса точности средний зазор будет равен 18 мкм. После полирования на обработанных поверхностях вала и втулки остались неровности высотой 5 мкм. Но когда износ гребешков достигнет половины своей высоты, размер зазора увеличится на 10 мкм, что приведет к посадке более грубого класса точности.

Чтобы исключить после первоначального износа неровностей потерю точности посадки, необходимо при изготовлении деталей добиться такого максимального зазора, который был бы меньше максимального зазора, заданного конструктором. Если обозначим максимальный заданный конструктором зазор через  $z_{max}$ , а максимальный зазор при изготовлении через  $z'_{max}$  то очевидно, что

где  $h_B$  — начальный износ вала;

$h_{om}$  — начальный износ отверстия втулки. Прочность соединений с натягом также во многом зависит от шероховатости поверхностей. При запрессовке происходит срезание микронеровностей, и фактическая величина натяга уменьшается, что при большой шероховатости приводит к уменьшению прочности соединения. С этим, например, связано также и то, что при распрессовке и повторной запрессовке детали прочность соединения ослабевает.

### 31. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

На качество поверхности в процессе механической обработки оказывают влияние свойства обрабатываемого материала, режимы резания, геометрические параметры инструмента и другие факторы.

Обрабатываемый материал. Шероховатость поверхности зависит от структуры и деформации материала, состояния его поверхностного слоя и т. п.

После обработки у вязких металлов шероховатость при прочих равных условиях получается больше, чем у хрупких металлов. Шероховатость поверхности уменьшается, если стальные заготовки предварительно подвергаются термической обработке. Например, после нормализации углеродистой конструкционной стали марки 45 шероховатость уменьшается почти в 2 раза.

Наклеп на поверхностном слое металла способствует уменьшению шероховатости поверхности.

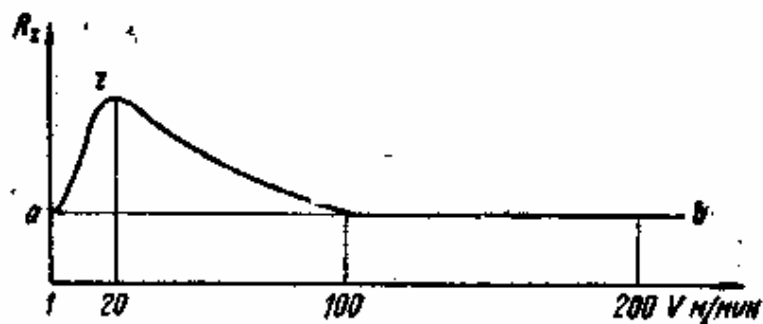
В результате деформаций, возникающих в поверхностном слое металла в процессе резания, дно впадины и вершина выступа после прохода инструмента поднимаются. Соотношения разнохарактерных деформаций, возникающих при обработке любой поверхности, не остаются постоянными, и поэтому на разных участках поверхности то вершины выступов поднимаются больше, чем дно впадины, то наоборот. Это приводит к различной шероховатости поверхности в отдельных местах, т. е. к снижению ее качества.

**Режимы резания.** Шероховатость поверхности резко возрастает с увеличением подачи. При увеличении подачи увеличивается и глубина наклепа. При точении резцами с широкой режущей кромкой продольная подача не влияет на шероховатость поверхности.

Необходимо отметить, что при малых подачах уменьшение подачи незначительно сказывается на снижении шероховатости. Поэтому при чистовом точении практически бесцельно уменьшать подачи ниже  $0,05 — 0,15$  мм/об.

Глубина резания не влияет на шероховатость поверхности.

При очень малых глубинах резания ( $t=0,02— 0,04$  мм) из-за притупления режущей кромки инструмент перестает нормально резать, и возникающие при этом вибрации резко увеличивают шероховатость.



**Рис. 51. График зависимости шероховатости поверхности от скорости резания.**

На шероховатость поверхности оказывает воздействие скорость резания. При низких скоростях резания нарост, отсутствует, и шероховатость бывает незначительной. При скоростях резания порядка  $v = 20—30$  м/мин, когда нарост достигает наибольшей величины, шероховатость возрастает. При дальнейшем повышении скоростей резания (при прочих неизменных условиях) шероховатость поверхности уменьшается. Она станет стабильной, когда скорость резания достигнет более  $100—150$  м/мин.

На рис. 51 приведен график зависимости шероховатости поверхности  $R_z$  от скорости резания. Высота неровностей до линии  $ab$  образуется в результате действия других причин, а увеличение шероховатости выше линии  $ab$  происходит из-за наростообразования.

Глубина, наклепа возрастает с увеличением скорости резания, но при скоростях резания выше  $200$  м/мин она уменьшается.

Шероховатость поверхности увеличивается при сверлении со скоростями резания

$v=15—25$  м/мин, а при зенкеровании —  $v=20—30$  м/мин. Наименьшая шероховатость поверхности при развертывании получается при  $v = 4—8$  м/мин.

Геометрические параметры режущего инструмента также влияют на шероховатость поверхности. С увеличением радиуса при вершине резца шероховатость поверхности уменьшается. Эта зависимость наблюдается особенно резко в области малых радиусов (1—4 мм), но можно получить хорошие результаты и при работе резцами с радиусом 50—100 мм.

Углы в плане оказывают влияние на шероховатость поверхности в том случае, если резец работает не только закругленной вершиной, но и прямолинейными участками главной и вспомогательной режущих кромок. С уменьшением вспомогательного угла в плане шероховатость уменьшается, причем при малых углах более резко. Но практически при  $\beta = 0$  шероховатость поверхности все-таки остается.

Кроме того, при  $\beta = 0$  на величину шероховатости значительно влияет и такой фактор, как, например, невозможность установки вспомогательной режущей кромки строго параллельно движению подачи. Тем не менее при очень малых углах в плане можно получить весьма чистую поверхность даже при больших подачах. Главный угол в плане влияет на шероховатость поверхности аналогично вспомогательному. Широкие резцы даже при подачах 6 мм/об и более при чистовом точении дают весьма чистую поверхность — не ниже 7-го класса.

Величина переднего угла  $\gamma$  в небольшой степени влияет на шероховатость поверхности. Но это влияние не связано с геометрическими соображениями, а происходит главным образом за счет изменения условий деформации металла. Так как с увеличением переднего угла деформация металла уменьшается, то будет иметь место и некоторое уменьшение шероховатости.

Задний угол  $\alpha$  также оказывает некоторое влияние на шероховатость поверхности. При малых значениях заднего угла ( $\alpha=2—30^\circ$ ) шероховатость поверхности меньше, чем при больших ( $\alpha=12—15^\circ$ ). Это объясняется, во-первых, тем, что при малых задних углах уменьшается износ инструмента и дольше сохраняются правильность формы и чистота контактных участков задней поверхности, а, во-вторых, тем, что нарост, получающийся на инструменте и систематически срываемый стружкой, при малых задних углах будет связан только с передней поверхностью, а при больших величинах частично будет связан также и с задней поверхностью.

Чистота обработанной поверхности зависит от качества доводки резца. Опыты многих исследователей показали, что низкое качество режущей кромки резца как следствие неудовлетворительной его доводки переносится на обработанную поверхность в увеличенном виде. Особенно это заметно при чистовой обработке инструментами с широкой режущей кромкой — развертками, протяжками, широкими резцами. Затупление режущего инструмента также неблагоприятно отражается на чистоте обработанной поверхности.

Жесткость технологической системы оказывает существенное влияние на шероховатость поверхности. При недостаточной жесткости системы в процессе резания возникают вибрации, которые усиливают шероховатость поверхности.

При неизменной характеристике жесткости станка и инструмента шероховатость поверхности зависит от формы и размеров заготовки, а также от способа закрепления ее. При консольном закреплении шероховатость увеличивается

на свободном конце заготовки; при обработке в центрах с вращающимся задним центром шероховатость поверхности возрастает у заднего центра при длине заготовки  $l$  до  $15d$  (диаметров). А при большей длине заготовки шероховатость поверхности увеличивается от заднего центра к середине ее длины и затем уменьшается по мере приближения к переднему центру. Шероховатость изменяется также при креплении заготовки в патроне с поддержкой задним вращающимся центром.

Смазочно-охлаждающая жидкость. Значительное влияние на процесс образования неровностей поверхности оказывает применяемый при ее обработке состав охлаждающей жидкости. Наилучшие результаты получаются, если в охлаждающей жидкости содержатся минеральные масла и другие вещества, повышающие ее смазочные свойства.

значительно сокращается вспомогательное время на транспортировку, снятие и установку детали.

Концентрация операций приводит к уменьшению числа занятых рабочих и к меньшей потребности в производственных площадях. Но при концентрации операций уровень технической грамотности и общая квалификация рабочих должны быть достаточно высокими.

Технологический процесс с дифференциацией операций выполняется на сравнительно простом оборудовании — узкоспециализированных станках, предназначенных для выполнения одной какой-либо операции, состоящей, как правило, из одного перехода.

При переходе к выпуску нового изделия перестройка простого оборудования значительно проще, чем перестройка станков, выполняющих сложные концентрированные операции. Рабочие осваивают простые операции быстрее, чем концентрированные. В условиях военного времени, когда потребовалось резкое увеличение выпуска боевой техники, вариант дифференциации операций оказался наиболее целесообразным, а порой и единственно возможным.

Допустимая степень дифференциации операций в условиях крупносерийного и массового производства зависит главным образом от размеров и веса обрабатываемых деталей.

## **36. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТОВ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

Выбор оборудования. Металлорежущие станки в зависимости от вида обработки делятся на 10 групп. Каждая группа подразделяется на 10 типов, а каждый тип — на 10 типоразмеров.

Принятый технологическим процессом метод обработки в значительной степени определяет собой группу потребного оборудования, а именно: токарную, фрезерную, шлифовальную и т. д. Но группа оборудования не дает еще достаточно конкретного представления о самом станке, так как в пределы, например, группы токарных станков входят различные автоматы и полуавтоматы, станки револьверные, карусельные, токарные и лобовые, многорезцовые и специализированные.

В основу деления типов металлорежущих станков на типоразмеры принимается

основной параметр станка: в токарных станках — наибольший размер обрабатываемой заготовки над станиной, в сверлильных — наибольший диаметр сверления в сплошном материале средней твердости, в продольно-фрезерных и консольно-фрезерных — размеры столов и т. д.

По классификации ЭНИМСа все серийно выпускаемые станки получают условное обозначение — шифр (номер), который состоит из 3—4 цифр и букв, причем буквы могут стоять после первой цифры или в конце номера. Первая цифра номера показывает группу, к которой относится данный станок. Вторая цифра указывает на тип станка в данной группе. Третья или третья и четвертая цифры совместно указывают условный размер станка. Так, например, для токарных станков эти цифры показывают высоту центров в сантиметрах или дециметрах (1620, 1616, 1670); для токарно-револьверных станков и автоматов — максимальный диаметр обрабатываемых прутков в миллиметрах (1336, 1125, 1265); для сверлильных станков — максимальный диаметр сверления (2А125, 2А135, 2150). Для консольно-фрезерных станков эта цифра условно показывает размер стола, цифра 0 соответствует размерам стола 200Х800 мм, цифра 1 — размерам стола 250Х1000 мм и т. д.

Для того чтобы отличить конструктивное исполнение станков одного и того же размера, но с различной технической характеристикой, между первой и второй цифрами вводится буква. Например, все станки моделей 162, 1А62, 1Б62, 1К62 являются токарными станками с высотой центров, равной 200 мм. Однако модель 162 имеет максимальное число оборотов в минуту 600, модель 1А62—1200, 1Б62—1500 и 1К62—2000 оборотов в минуту.

Буквы, расположенные в конце номера, означают выпуск станков различных модификаций одной и той же базовой модели.

Наиболее полные сведения о станках приведены в их паспортах.

Выбор оборудования — одна из наиболее важных и сложных задач при разработке технологического процесса механической обработки.

При выборе оборудования необходимо руководствоваться следующими основными соображениями:

- 1) станок должен обеспечить требуемые точность обработки и качество поверхности;
- 2) производительность станка должна соответствовать заданной производственной программе выпуска деталей;
- 3) мощность и жесткость станка должны обеспечить обработку твердосплавными режущими инструментами на оптимальных режимах резания;
- 4) станок должен обеспечить удобство обработки (удобство управления, удаления стружки и т. д.); обслуживание станка не должно быть связано с выполнением тяжелых и трудоемких ручных работ;
- 5) размеры рабочей зоны станка должны соответствовать размерам обрабатываемой детали.

Классификация станков по технологическим признакам предложена проф. А. И. Кашириным. Станки делятся по этой классификации на следующие виды: широкого или общего назначения — универсальные, высокой производительности, специализированные, специальные.

Станки широкого или общего назначения — универсальные — применяются в

единичном и мелкосерийном производстве для выполнения разнообразной обработки. Станки высокой производительности лучше всего подходят для крупносерийного и массового производства. Эти станки имеют достаточную мощность для обработки деталей на более высоких режимах резания. К станкам этого вида относятся токарно-многолезцовые, круглошлифовальные, работающие по методу поперечной подачи, бесцентрово-шлифовальные, некоторые продольно-фрезерные, токарные автоматы и полуавтоматы.

К специализированным станкам относят такие, которые путем конструктивных изменений станков высокой производительности приспособлены к выполнению только одной определенной операции по обработке определенной детали. К специализированным станкам относятся также агрегатные станки.

Специальные станки проектируют и изготавливают по особому заказу и предназначают их для выполнения конкретной операции. Такие станки находят ограниченное применение в условиях массового производства.

Автоматические станочные линии — это группа автоматических станков, установленных один за другим в порядке выполнения технологического процесса и связанных между собой автоматическими транспортирующими устройствами прерывного действия.

**Выбор режущего инструмента.** Тип и размеры режущего инструмента для выполнения заданной операции зависят от способа обработки, размеров обрабатываемых поверхностей и от требований, предъявляемых к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности.

Для изготовления режущих инструментов применяют большое количество марок инструментальных сталей, металлокерамические твердые сплавы, минералокерамические пластинки и алмазы.

Основной группой материалов для режущих инструментов являются инструментальные стали — углеродистые, легированные и быстрорежущие.

Углеродистые стали (ГОСТ 1435-54) имеют высокую твердость (*HRC* 62—63), прочность, износостойчивость и низкую твердость в отожженном состоянии (*HB* 187—217). К недостаткам углеродистых сталей надо отнести склонность их к образованию трещин и значительной деформации при термической обработке и низкую теплостойкость ( $T = 200—250^{\circ}\text{C}$ ).

Из углеродистых сталей марок У10А, У11, УНА, У12 и У12А изготавливают сверла малого диаметра, метчики, развертки, плашки и фрезы небольших диаметров. Из сталей марок У13 и У13А выпускают резцы, шаберы, напильники и зубила для насечки напильников.

Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-63) обладают по сравнению с углеродистыми повышенной вязкостью в закаленном состоянии, более глубокой прокаливаемостью, меньшей склонностью к деформациям и трещинам при термической обработке.

Режущие свойства легированных сталей примерно такие же, как и углеродистых инструментальных сталей, потому что они также имеют низкую теплостойкость ( $T=200—250^{\circ}\text{C}$ ).

Незначительная деформация закаливаемых в масле легированных сталей особенно ценна при изготовлении фасонного и длинного инструмента. Из легированных сталей марок В1 и 9ХС изготавливают сверла, метчики, развертки, фрезы, плашки и



гребенки; из стали марки

X — токарные, строгальные и долбежные резцы; из сталей марок ХВГ и ХВСГ — протяжки, длинные развертки, фрезы и плашки; из стали марки 11Х — метчики и другие режущие инструменты диаметром до 30 мм.

Быстрорежущие стали (ГОСТ 9373-60) имеют высокую твердость, прочность и износостойкость и сохраняют эти свойства при температурах до 600—700° С. Быстрорежущие стали делятся на стали нормальной теплостойкости (P18, P12, P9, P6M3) и на стали повышенной теплостойкости (P18Ф2, P14Ф4, P9Ф5, P18Ф2К5, P9К5, P9КЮ, P10Ф5К5 и др.).

Для обработки конструкционных сталей с твердостью до 220—230 НВ и чугунов используют стали нормальной теплостойкости. Для работы с большими подачами или динамическими нагрузками (например, для долбя-ков) нужны стали нормальной теплостойкости, но большой прочности (P12 и P6M3).

При обработке более прочных и улучшенных конструкционных сталей необходимы стали с повышенной теплостойкостью — ванадиевые марок P18Ф2, P12Ф3. Для инструментов, от которых требуется высокая твердость (например, инструменты для автоматических линий), нужны ванадиевые стали с повышенной теплостойкостью — P14Ф4 и P12Ф3 и лишь для очень тяжелых режимов резания — кобальтовые — P18Ф2К5, P9К5 и P9КДО.

В настоящее время почти все режущие инструменты оснащаются металлокерамическими твердыми сплавами.

ГОСТ 3882-67 устанавливает марки твердых сплавов по следующим группам:

а) вольфрамовые твердые сплавы (ВК), структура которых состоит из зерен карбида и вольфрама, сцементированных кобальтом. В эту группу входят следующие марки твердых сплавов: ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВКЮ, ВК15, ВК20 и ВК25;

б) титано-вольфрамовые твердые сплавы (ТК), структура которых состоит из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана, сцементированных кобальтом. В эту группу входят следующие марки твердых сплавов: Т3ОК4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В;

в) титано-тантало-вольфрамовые твердые сплавы (ТТК), структура которых состоит из зерен твердого раствора (карбид титана — карбид тантала — карбид вольфрама) и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом. В эту группу входят следующие марки твердых сплавов: ТТ7К12 и ТТ10К8Б.

Твердые сплавы группы ВК предназначены для обработки чугунов, цветных сплавов и неметаллических материалов. Твердые сплавы марок ВК2, ВК3М и ВК6М предназначены для чистовой и получистовой обработки, а ВК6 и ВК8 — для черновой обработки.

Твердые сплавы группы ТК используются для обработки сталей. Твердый сплав марки Т3ОК4 предназначен для чистовой обработки, Т15К6 — для получистовой, а Т14К8, Т5К10 и Т5К12В — для черновой обработки.

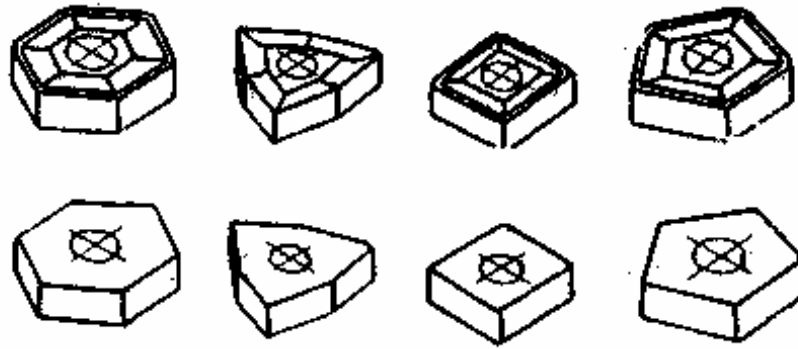


Рис. 52. Неперетачиваемые многогранные пластинки.

Твердые сплавы группы ТТК применяют для тяжелой черновой обработки поковок, штамповок и отливок по корке на низких скоростях резания и для черновой обработки труднообрабатываемых материалов, включая жаропрочные стали и сплавы.

Московский комбинат твердых сплавов изготавливает в большом количестве многогранные пластинки (рис 52), которые успешно применяются для оснащения резцов и фрез. Многогранные пластинки после спекания имеют достаточно правильную геометрическую форму и шероховатость рабочих поверхностей в пределах 6—7-го классов. Поэтому можно ограничиться только доводкой фасок по периметру со стороны передней поверхности пластинки и доводкой опорных плоскостей пластинок.

Кроме многогранных пластинок комбинат твердых сплавов изготавливает цельнотвердосплавные фрезы диаметром от 20 до 60 мм, машинные развертки диаметром от 6 до 12 мм, ручные метчики диаметром от 2,45 до 10,5 мм, спиральные сверла диаметром от 1,8 до 5,2 мм, конические и цилиндрические борфрезы диаметром от 8 до 32 мм.

Для оснащения резцов и торцовых фрез при чистовой обработке сталей, чугунов и цветных сплавов применяют минералокерамические пластинки марки ЦМ-332.

Для тонкого точения и растачивания деталей из цветных сплавов и неметаллических материалов применяют алмазные резцы.

Назначение рационального режима резания. При назначении режима резания необходимо исходить из наивыгоднейшего сочетания отдельных факторов, оказывающих влияние на точность и качество обработанных поверхностей. Кроме того, рациональный режим резания должен обеспечить наименьшую трудоемкость выполнения операций при высокой производительности и наиболее полном использовании режущих свойств инструмента, а также эксплуатационных возможностей станка.

При работе резцами рациональный режим резания обеспечивается наивыгоднейшим сочетанием глубины резания, подачи и скорости резания; при сверлении — подачи и скорости резания; при рассверливании, зенкерования и развертывании — глубины резания, подачи и скорости резания.

В зависимости от величины припуска на обработку вначале находят глубину резания. Небольшое влияние глубины резания на стойкость инструмента и скорость резания позволяет при черновой обработке назначать возможно большую глубину резания, обеспечивающую снятие части припуска за один проход. При шероховатости

поверхности, соответствующей 5-му классу, глубина резания назначается в зависимости от класса точности в пределах от 0,5 до 1,5—2,0 мм, а при 6—7-м классах чистоты — от 0,1 до 0,3—0,4 мм.

Так как подача оказывает меньшее влияние на стойкость инструмента, чем скорость резания, то подачу следует назначать после выбора глубины резания. При черновой обработке необходимо назначать возможно большие подачи, допускаемые прочностью и жесткостью элементов технологической системы и мощностью станка. При чистовой обработке подача выбирается в зависимости от класса точности и шероховатости обработанной поверхности.

При черновом фрезеровании подача на зуб выбирается так же, как и при точении. При чистовом фрезеровании основной подачей, характеризующей шероховатость поверхности, является подача на один оборот фрезы.

При сверлении и рассверливании чугуна, а также при рассверливании стали и стального литья подачи назначаются с учетом прочности пластинок твердого сплава и прочности их крепления, связанной с высокой температурой резания, при которой прочность припоя уменьшается; твердости обрабатываемого материала; точности и шероховатости поверхности; прочности и жесткости элементов технологической системы и мощности станка.

При черновом зенкерowaniu и наличии большого припуска на обработку подачи назначаются с учетом тех же факторов, что и при сверлении, а при чистовом зенкерowaniu с малым припуском и при развертывании подачи назначаются с учетом требований, предъявляемых к точности и шероховатости обработанной поверхности.

В последнюю очередь выбирают скорость резания, ориентируясь обычно на экономическую стойкость режущего инструмента. Средние значения периодов стойкости приводятся в таблицах нормативов.

В зависимости от ранее выбранных элементов режима резания определяется скорость резания по следующей формуле:

$$v_T = \frac{C_v}{t^x v_s^y v},$$

где  $v_T$  — скорость резания при выбранном периоде стойкости, в м/мин;  $t$  — глубина резания, в мм;  $s$  — подача, в об/мин.;  $x$  и  $y$  — показатели степени соответственно при глубине резания и подаче;

$C_v$  — постоянная величина, зависящая от материала инструмента, обрабатываемого материала, вида обработки и др.

При выборе другого периода стойкости  $T_1$  отличного от  $T$ , скорость резания  $v_{T_1}$  может быть пересчитана по такому уравнению:

$$v_{T_1} = v_T \left( \frac{T}{T_1} \right)^m,$$

где  $m$  — показатель относительной стойкости, равный 0,1—0,3.

По выбранной скорости резания определяется расчетное число оборотов в минуту:

Расчетное число  $n = \frac{1000v}{\pi D}$  оборотов или двойных ходов согласовывают с паспортом

или расчетное число двойных ходов в минуте

$$n = \frac{1000v}{2L}.$$

станка, выбирая ближайшее меньшее.

Назначение рационального режима резания при многоинструментальной обработке сложнее, чем при одноинструментальной. Так как при многоинструментальной обработке невозможно установить каждому инструменту свой, отличный от других, элемент режима резания, то его устанавливают по лимитирующему инструменту, т. е. по тому, стойкость которого будет наименьшей. Принципы Назначения режима резания остаются такими же, как и для одноинструментальной обработки.

## **37. ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ГРУППОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ**

Типизация технологических процессов базируется на классификации деталей машин по признаку технологической общности и разработке технологических процессов на изготовление типовых деталей, отражающих наиболее передовой опыт и достижения промышленности, науки и техники.

Типовые технологические процессы позволяют сократить цикл подготовки производства и освоения новых типов машин, унифицировать технологическую оснастку и облегчить внедрение поточных форм производства.

Большую работу по разработке научных основ и широкой пропаганде идеи типизации технологических процессов проделал проф. А. П. Соколовский. В качестве критериев для проведения классификации он предложил детали группировать по признакам, определяющим сходство технологических процессов — конфигурация и размеры детали, точность и качество обработанных поверхностей и т. д.

Кафедра технологии машиностроения Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина предложила детали общего машиностроения разделить на 15 классов. Так, например, цилиндрические детали вращения разбиваются на классы валов и втулок; плоские детали вращения — на класс дисков и т. д.

Детали каждого класса разбивают на группы, подгруппы и типы в соответствии с их наиболее характерными технологическими признаками. Для таких типовых деталей и разрабатывается единый технологический процесс, который имеет одинаковый план операций, выполняемый в основном одинаковыми методами с использованием однотипного оборудования, приспособлений и инструментов.

В этой технологической схожести и заключается сущность типизации технологических процессов.

Групповой метод обработки деталей. Идея типизации технологических процессов и достигнутые в этом направлении результаты послужили основанием для развития и внедрения метода групповой обработки деталей.

В условиях единичного и мелкосерийного производства, как правило, большая номенклатура изделий одного наименования изготавливается в незначительных количествах. Применяемые здесь универсальные приспособления и инструменты позволяют обрабатывать детали разных наименований, но при этом увеличиваются длительность изготовления деталей и время на переналадку станков.

В условиях единичного и мелкосерийного производства можно создать такие условия, при которых будет экономически целесообразным использование

специальных приспособлений, что позволит увеличить производительность станка при данной настройке. Для этого необходимо все детали разбить на классы, подклассы, группы по признакам технологического сходства, разработать технологический процесс и настроить станок на обработку не одной конкретной детали, а на группы технологически подобных деталей. Обработка этих деталей возможна при одной наладке станка с некоторой подналадкой его.

Работы по созданию процесса, пригодного для изготовления группы деталей различных наименований, состоят из двух этапов:

- 1) проведение классификации деталей с целью установления отдельных совокупностей или групп технологически подобных деталей;
- 2) разработка технологического процесса изготовления деталей данной совокупности или классификационной группы.

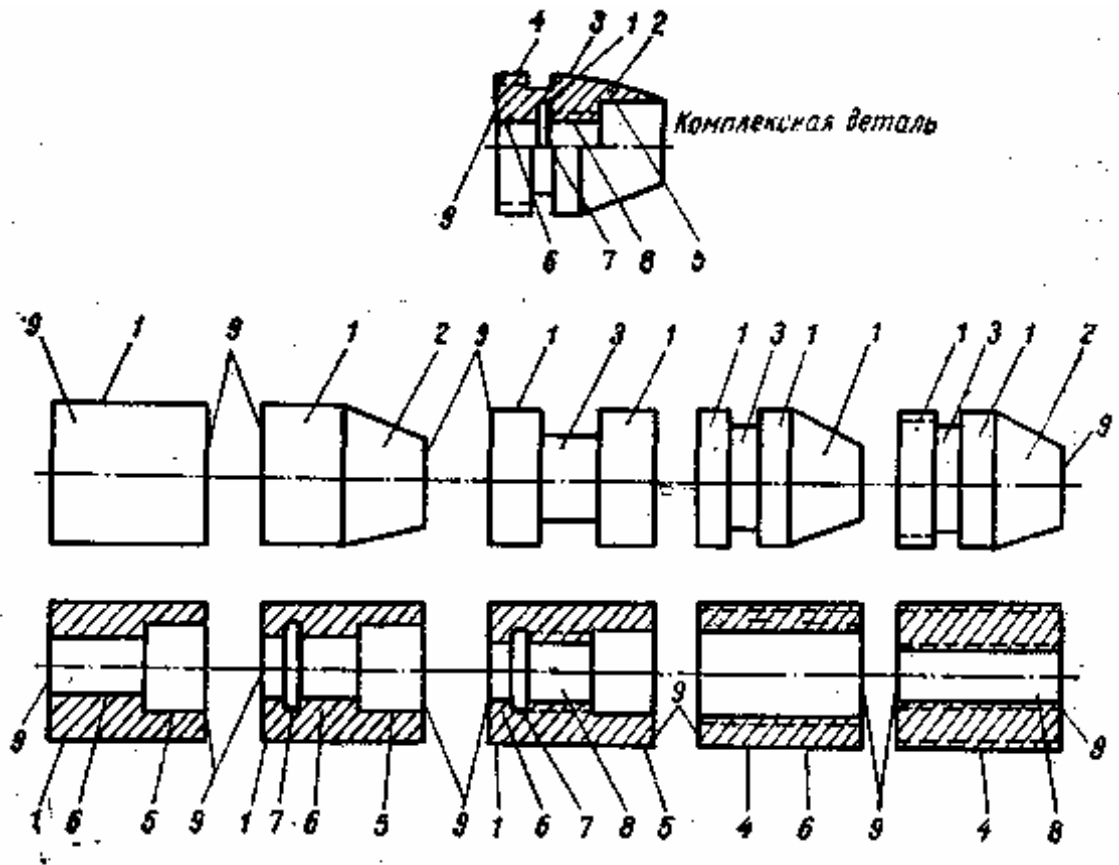


Рис. 53. Группа деталей, обрабатываемых при однотипной настройке станка.

При классификации необходимо учитывать, что обработка деталей одной группы должна осуществляться одними методами: на однородном оборудовании, при групповой настройке и с применением приспособлений и инструментов, характерных для данной группы деталей.

В данную группу могут входить детали разной конфигурации, размеров и степени сложности. Среди деталей данной группы выбирается наиболее сложная, образованная из сочетания отдельных простых поверхностей, в той или иной степени присущих другим деталям данной группы. Такую деталь называют комплексной или базовой. Для комплексной детали разрабатывается технологический процесс и производится настройка станка. Группа деталей, обрабатываемых по однотипной

настройке на револьверном станке, приведена на рис. 53. Эти детали образованы за счет сочетания тех или иных поверхностей: наружных — цилиндрической 1, конической 2, канавки 3, резьбы 4, торцов 9; внутренних — цилиндрической с уступами 5, отверстия 6, канавки 7, резьбы 8.

Так как комплексная деталь содержит все перечисленные поверхности, то, разработав для нее технологический процесс и настроив станок, можно изготовить всю группу деталей, которые содержат те же элементы.

Комплексная деталь может быть и нереальной. Ее можно создать искусственно с тем, чтобы она содержала все элементы поверхности, присущие деталям данной группы.

Групповой метод обработки можно применять как для отдельных станков разных типов, так и для станков поточных линий.

Групповой метод обработки расширяет возможности использования высокопроизводительных методов в серийном производстве, создает условия для более высокой загрузки станков, сокращает или исключает время на переналадку.

## 38. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Технические нормы времени в условиях серийного и массового производства определяются расчетно-аналитическим методом. Устанавливается норма времени на операцию. При массовом производстве определяется норма штучного времени  $T_{шт}$ , а при серийном производстве дополнительно определяются подготовительно-заключительное время  $T_{п-з}$  и штучно-калькуляционное время, т. е. техническая норма времени  $T_n$ .

Норма штучного времени  $T_{шт}$  при выполнении станочных работ состоит из следующих частей:

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{o.p.m} + T_{отр}$$

где  $T_0$  — основное (машинное) время, затрачиваемое на изменение размеров, формы и внешнего вида детали в процессе механической обработки;

$T_B$  — вспомогательное время, затрачиваемое на различные приемы, обеспечивающие выполнение основной работы; к нему относятся: время на управление станком, установку, закрепление и снятие заготовок, подвод и отвод режущего инструмента, измерение обработанных поверхностей и т. д.; сумма  $T_0 + T_B$  образует оперативное время  $T_{оп}$ ;

$T_{o.p.m}$  — время обслуживания рабочего места; оно разделяется на время технического обслуживания  $T_{тех}$  (смазка станка, удаление стружки, смена инструмента, правка или заточка инструмента) и на время организационного обслуживания  $T_{орг}$  (подготовка станка к работе в начале смены и на уборку его в конце смены, а также на передачу станка сменщику).  $T_{o.p.m}$  определяют в процентах к оперативному времени;

$T_{om}$  — время перерывов на отдых и личные надобности рабочего; оно устанавливается в зависимости от условий выполнения работы.

В крупносерийном и массовом производстве штучное время можно определить по

следующей формуле:

$$T_{ш} = T_o + T_{в} + T_o \frac{K_1}{100} + (T_o + T_{в}) \frac{K_2 + K_3}{100},$$

где  $K_1$  — время на техническое обслуживание, в процентах от основного времени;  $K_2$  и  $K_3$  — время на организационное обслуживание и время перерывов на отдых и личные надобности, в процентах от оперативного времени.

В единичном и мелкосерийном производстве суммарное время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности  $K$  принимается в общем проценте от оперативного времени. Формула для расчета в этом случае принимает следующий вид:

$$T_{ш} = (T_o + T_{в}) \left( 1 + \frac{K}{100} \right).$$

Для выполнения данной операции механической обработки требуется затратить некоторое время на ее подготовку. Это время называется подготовительно-заключительным временем  $T_{п.з.}$ . Оно затрачивается не на каждую деталь, обрабатываемую на рабочем месте, а один раз на партию деталей независимо от количества деталей в партии. К элементам подготовительно-заключительного времени относятся: получение материала и необходимого инструмента, ознакомление с технологическим процессом, наладка станка, пробная обработка и т. д.

В массовом производстве нет необходимости планировать затраты подготовительно-заключительного времени, так как на рабочем месте постоянно выполняется лишь одна операция технологического процесса. В серийном производстве, где детали обрабатываются партиями, для определения затрат на обработку пользуются штучно-калькуляционным временем  $T_{ш.к.}$ :

$$T_{ш.к.} = T_{ш} + \frac{T_{п.з.}}{n},$$

где  $n$  — количество деталей в партии.

Технически обоснованные нормы, как правило, действительны на определенный срок; они подлежат изменению в связи с внедрением новой техники и улучшением организации труда.

Кроме расчетно-аналитического метода определения технической нормы существуют и другие методы, основанные на изучении затрат рабочего времени путем наблюдений (фотографии и хронометраж). В настоящее время получили распространение методы укрупненного нормирования.