

Проф. А. Б. ЯХИН — ТЕХНОЛОГИЯ ТОЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Проф. А. Б. ЯХИН

ТЕХНОЛОГИЯ
ТОЧНОГО
приборостроения

ОБОРОНГИЗ • 1940

Проф. А. Б. ЯХИН

ТЕХНОЛОГИЯ ТОЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

*Утверждено ГУУЗ НКВ СССР
в качестве учебного пособия
для втузов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
МОСКВА 1940

Настоящий труд представляет собою коренную переработку вышедшей в 1934 г. книги автора «Основы разработки технологических процессов применительно к точной индустрии».

В книге содержатся материалы, относящиеся к общей части курса, читаемого автором в Московском ордена Трудового Красного Знамени механико-машиностроительном институте им. Баумана.

Книга состоит из двух частей: I. Общие основы построения технологических процессов. II. Технология общих деталей точного приборостроения.

Книга предназначена для студентов вузов и инженерно-технических работников точного приборостроения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	Стр. 5
Введение	7

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Глава первая

Точность обработки

1. Общие положения	11
А. Влияние точности обработки на содержание технологического процесса	11
Б. Соблюдение требуемой точности путем автоматического получения размеров как исходный принцип построения технологических процессов в точном приборостроении	13
В. Классификация погрешностей и методы их оценки	15
2. Обзор причин, вызывающих систематические погрешности.	17
А. Деформации детали.	17
Б. Износ режущего инструмента и его деформации	19
В. Неточности, износ и деформации оборудования	20
3. Определение рассеивания размеров методом больших чисел	21
А. Общие положения	21
Б. О законе распределения размеров деталей	24
В. Многовершинные кривые распределения	27
Г. Вероятность соблюдения заданного допуска	28
Д. Исследование технологических процессов при помощи кривых распределения	30
4. Рассеивание размеров при станочной операции, построенной по принципу автоматического получения размеров	34
А. Рассеивание размеров как фактор, обуславливающий выбор вида обработки	36
Б. Определение вероятного количества деталей, подлежащих дополнительной обработке	41
В. Установка деталей	43
Г. Настройка станка на точность	84

Глава вторая

Чистота поверхности

1. Общие предпосылки	96
2. Влияние качества поверхности на износоустойчивость	99
3. Связь между микрогеометрией поверхности и точностью обработки	101
4. Прочие свойства детали, зависящие от состояния обработанной поверхности	102
А. Антикоррозийная стойкость	102
Б. Прочность	103
В. Трение	104
5. Методы характеристики и контроля неровностей поверхности	105

Глава третья

Экономичность и производительность технологических процессов

1. Себестоимость как основной фактор, определяющий экономичность технологического процесса	109
А. Общие положения	109
Б. Текущие расходы	112
В. Единовременные расходы	113

2. Производительность	114
А. Норма времени	114
Б. Пути повышения производительности	117
В. Многостаночное обслуживание и автоматизация технологических процессов	118

Глава четвертая

Методические указания к построению технологических процессов

1. Предварительная разработка технологического процесса	122
2. Методы концентрированных и дифференцированных операций	124
3. Последовательность операций	126
4. Выбор станка	127
5. Типизация технологических процессов	130

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЩИХ ДЕТАЛЕЙ ТОЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Глава первая

Заготовка

1. Сравнительная характеристика основных методов выполнения заготовки	136
А. Литье под давлением	137
Б. Холодное штампование из листового металла	149
В. Прессование пластмасс	158
Г. Прочие методы, применяемые в точном приборостроении	162
2. Припуски на обработку	169
3. Влияние технологических требований на конструкции деталей	171
А. Влияние технологических требований на конфигурацию деталей	171
Б. Учет технологических требований при назначении материала детали	187

Глава вторая

Механическая обработка

1. Оси, втулки и диски	200
А. Выбор типа станка	207
Б. Обработка осей	242
В. Обработка втулок	263
Г. Обработка дисков	269
Д. Балансировка вращающихся деталей	273
2. Детали, производные от классов осей и втулок	273
А. Лимбы	284
Б. Эксцентрики	289
В. Кулачки	298
Г. Шестерни	323
Д. Винты и гайки	337
3. Платинки	337
А. Получение плоскости	344
Б. Методы получения точно расположенных отверстий	

Глава третья

Покрытия

1. Общие положения	351
2. Виды покрытий	358

П р и л о ж е н и я

1. Образец карты технологического процесса	368
2. Средняя экономическая степень точности обработки	370
3. Таблица значений $\Phi(z)$	374
4. Классификация методов обработки (пример)	376
5. Классификация деталей машиностроения	378
6. Таблица припусков	380
7. Центровые отверстия	381
8. Инструмент центровочный	382
9. Число люнетов при нормальных шлифовальных работах	383

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вследствие огромного разнообразия различных отраслей производства, объединяемых термином «точное приборостроение», специалисты для точного приборостроения подготовляются с различными уклонами. В соответствии с этим технологические процессы конкретных изделий выделяются в специальную часть курса, излагаемую для каждого уклона отдельно.

В книге содержатся материалы по первым частям курса, прохождение которых предшествует специальной части курса. Первая часть книги посвящена вопросам общего характера, связанным в основном с методикой разработки технологических процессов в точном приборостроении. Вторая часть содержит основные указания по технологии общих деталей, встречающихся почти во всех отраслях точного приборостроения. Выделение этих сведений в отдельную часть продиктовано стремлением избежать повторений в специальной части курса, чтобы при прохождении последней учащийся мог сосредоточить внимание на вопросах технологии, связанных с назначением изделий, их специфическими особенностями, характером производства и т. д.

В книге большое внимание уделено требованиям конструктивно-технологического характера. Мы не сочли возможным ограничить содержание книги лишь вопросами изготовления деталей путем обработки резанием, так как в точном приборостроении за последние годы все больший удельный вес приобретают такие методы, как литье под давлением и штампование металла, прессование пластмасс и др. Кроме того, в книге приводятся основные положения по весьма существенному для точного приборостроения, но не затрагиваемому другими дисциплинами вопросу — опокрытиях. Наконец, в соответствии с основными особенностями точного приборостроения особое внимание уделено общим предпосылкам, связанным с точностью обработки.

Объем книги не позволяет излагать многие из вопросов так полно, как это необходимо в пособиях, предназначенных для специалистов-технологов по холодной обработке. Поэтому ряд общих вопросов (например документация технологических процессов), а также вопросы, связанные с выполнением отдельных операций, излагаются в книге кратко.

Книга является учебным пособием, но ее ни в коем случае нельзя рассматривать как учебник, содержащий исчерпывающие материалы по всем вопросам курса. В частности, в книге не затрагивается конструирование приспособлений, так как этот вопрос хотя и входит в программу курса, но с ним неразрывно не связан. Кроме того, имеется ряд пособий, специально посвященных приспособлениям. По этим же причинам весьма кратко изложено и техническое нормирование.

Ряд положений, в особенности теоретических, нуждается еще в дальнейшей разработке. Типизация технологических процессов в точном приборостроении, несомненно, вызовет изменения не только в содержании, но и в построении курса.

Наиболее детально излагаются в книге преимущественно те вопросы, которые либо трактуются иначе, чем в других пособиях по родственным дисциплинам, либо совсем не затрагиваются ими.

Кроме автора, в составлении книги принимали участие специалисты, осветившие отдельные вопросы: инж. Н. П. Егорова — о покрытиях, инж. Е. М. Гольдовский — о балансировке, инж. В. Н. Покровский — о нанесении делений.

В заключение автор выражает благодарность проф. А. П. Соколовскому и А. П. Знаменскому, давшим ряд ценных указаний при рецензировании рукописи настоящей книги.

ВВЕДЕНИЕ

В точном приборостроении, как и в машиностроении, различают три основных типа производства: индивидуальное, серийное и массовое.

При индивидуальном способе производства изготавливаются единичные изделия по отдельным заказам. Повторное изготовление одних и тех же изделий в производствах индивидуального типа необязательно.

При серийном способе производства¹ изделия изготавливаются партиями, или сериями, регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени. В зависимости от размеров партий различают мелкосерийное и крупносерийное производство.

Массовое производство основано на том, что изделия изготавливаются путем выполнения на рабочих местах одних и тех же постоянно повторяющихся операций.

В индивидуальном производстве технологические процессы детально не разрабатываются; делается только ориентировочная наметка процесса, предусматривающая последовательность операций, и на основании статистических данных для аналогичных работ ориентировочно определяется рабочее время. Это обуславливается тем обстоятельством, что детальная разработка не повторяющихся в индивидуальном производстве технологических процессов экономически нецелесообразна.

В производстве серийного и, в особенности, массового типа, чтобы иметь возможность: 1) установить номенклатуру и последовательность операций, потребных для изготовления детали; 2) дать рабочему руководящие указания о том, как следует осуществлять каждую из отдельных операций; 3) заблаговременно сконструировать и изготовить специальные приспособления и инструменты; 4) осуществить ряд таких организационных мероприятий, как календарное планирование, техническое нормирование и т. п., необходимо до запуска изделия в производство разработать технологический процесс и зафиксировать его в соответствующих документах.

¹ Определения понятий серийного и массового производства заимствованы из книги проф. В. М. Кован, Технология автотракторостроения, Машгиз, 1938.

Разработка технологического процесса в производствах серийного и массового типа является одной из основных частей общей совокупности работ по подготовке производства и осуществляется при постановке новых производств, рационализации существующих производств и проектировании новых предприятий.

Степень детализации разработки технологического процесса зависит от типа производства. Наиболее детально следует разрабатывать технологические процессы в производствах массового типа.

Исходным документом, фиксирующим технологический процесс, является карта технологического процесса, образец которой приведен в приложении 1.

Необходимым приложением к карте являются эскизы, поясняющие сущность операции, а также способ установки и закрепления детали. Если для осуществления операции намечены специальные приспособления или инструменты, эскизы должны содержать принципиальные схемы этих приспособлений и инструментов. Эти схемы должны быть положены в основу конструктивной разработки специальных приспособлений и инструментов.

Вторым из основных документов являются операционные чертежи. Операционный чертеж представляет собою чертеж детали в том виде и с теми размерами, которые должны быть получены в результате осуществления данной операции. Размеры, не обрабатываемые при данной операции, на операционном чертеже не проставляются. Для сокращения объема чертежных работ в некоторых предприятиях отказываются от составления операционных чертежей, ограничиваясь рабочими чертежами, которые представляют собою чертежи деталей в том виде, в каком они должны подаваться в сборку. В большинстве случаев отказ от составления операционных чертежей не оправдывает себя, так как они более понятны рабочему, устраняют путаницу в межоперационных размерах и, кроме того, заставляют цехи изготавливать детали в соответствии с порядком операций, установленным при разработке технологических процессов.

Инструкционные карты составляются отдельно на каждую операцию и содержат подробные указания о том, как должна осуществляться данная операция.

Нормировочные карты составляются на каждую операцию и содержат расчет нормы времени по элементам. Составление этих карт обычно не вызывается необходимостью. Значительно целесообразнее данные о времени обработки заносить в соответствующие графы технологической карты.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ГЛАВА ПЕРВАЯ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

А. Влияние точности обработки на содержание технологического процесса

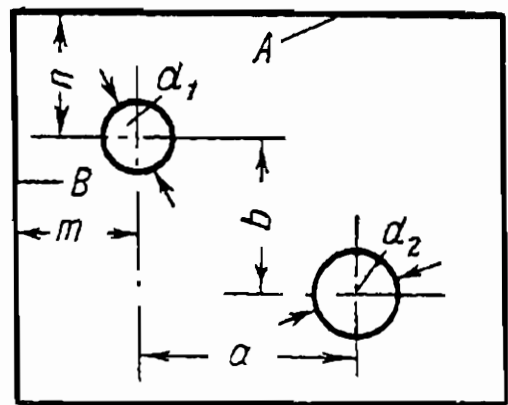
Требования, предъявляемые к точности обработки детали¹, в основном сводятся к следующему:

1) выдержать точность размеров и геометрических форм отдельных обрабатываемых поверхностей;

2) выдержать точность взаимного расположения обработанных поверхностей и их положения по отношению к необрабатываемым поверхностям. Для иллюстрации приводим фиг. 1, где диаметры отверстий d_1 и d_2 относятся к обрабатываемым поверхностям, размеры a и b определяют их взаимное расположение, а размеры m и n — положение отверстий относительно граней A и B .

В большинстве случаев на чертежах проставляются лишь допуски, определяющие требуемую степень точности по размерам, относящимся к отдельным поверхностям. Допуски, характеризующие отступления от геометрических форм (конусность, овальность, огранность и т. п.), почти никогда не проставляются на чертежах и даже редко содержатся в технических условиях. Вследствие этого при разработке технологических процессов часто недоучитывают требования, существенно влияющие на качество изготавливаемых изделий.

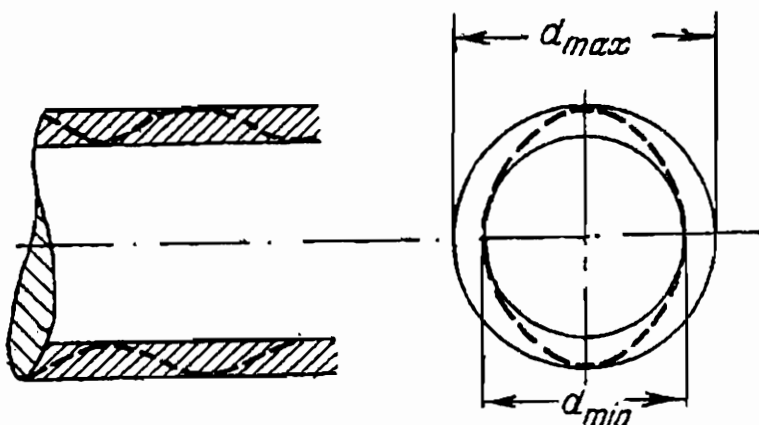
Допустим, например, что на чертеже цилиндрической детали проставлен лишь допуск и никаких дополнительных указаний в технических условиях не имеется. Рассуждая формально, можно было бы считать, что достаточно разработать такой технологический про-



Фиг. 1.

¹ Вопрос о том, как следует устанавливать допуски на отдельные детали в зависимости от требуемой точности сопряжения и условий сборки, нами не затрагивается, так как он рассматривается в курсе допусков.

цесс, в результате осуществления которого детали могли бы иметь любые отклонения от геометрически правильной формы, при условии, чтобы эти отклонения не выходили за пределы допуска по диаметру (фиг. 2). Между тем отступления от геометрической формы



Фиг. 2.

являются нередко основной причиной брака.

Также редко указываются на чертежах и допуски в отношении взаимного расположения отдельных поверхностей друг по отношению к другу (например допуски на межцентровые расстояния, соосность, параллельность, угловые размеры, перпендикуляр-

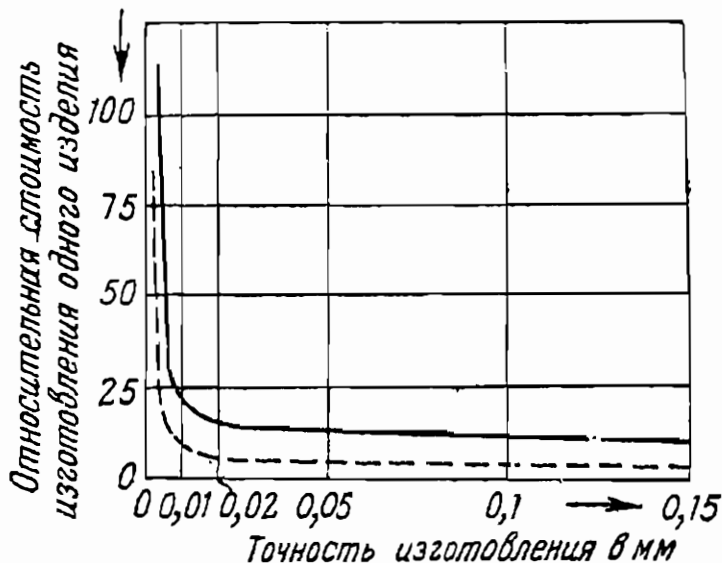
ность торцевых поверхностей цилиндрическим и т. п.). В ряде случаев разбраковка готовых деталей при контроле по таким, например, признакам, как огранность, вообще не может иметь места вследствие сложности процесса измерения.

В подобных случаях особенно необходимо так разрабатывать технологические процессы, чтобы содержание их гарантировало требуемую точность детали.

Удовлетворение всех требований, относящихся к точности размеров и геометрической формы отдельных поверхностей и к точности их расположения, является основной и в большинстве случаев наиболее сложной задачей при разработке технологических процессов в точном приборостроении.

Не следует упускать из вида и того, что стремление к достижению степени точности обработки более высокой, чем это необходимо, как правило, влечет ненужное усложнение технологического процесса и удорожает стоимость детали. Так, например, при обработке стального валика технологический процесс в зависимости от требуемой точности обработки изменяется следующим образом:

1) при допуске в 0,1 мм достаточно обточить валик с одного прохода;



Фиг. 3. Зависимость между точностью обработки и стоимостью.

Пунктирная кривая—цилиндр диаметром 50 мм и длиной 45 мм; сплошная кривая—цилиндр диаметром 100 мм и длиной 60 мм.

2) при допуске в 0,05 мм приходится обтачивать валик минимум в два прохода;

3) при допуске в 0,02 мм необходимо не только обтачивать, но и шлифовать;

4) при допуске в 0,005 мм добавляется еще и притирка.

В соответствии с повышением степени точности возрастает и стоимость обработки (фиг. 3).

В большинстве случаев при разработке технологических процессов пользуются данными, содержащимися в различных литературных источниках под названием «Средняя экономическая степень точности» (см. приложение 2). Необходимо, однако, отметить, что эти данные можно рассматривать лишь как первое приближение к решению поставленной задачи. Оборудование и методы работы, применяемые на современных заводах точного приборостроения, в большинстве случаев позволяют даже в условиях массового производства выдерживать размеры в пределах значительно более узких допусков, чем это указано в упомянутых таблицах.

Будучи весьма ориентировочными, литературные данные дают общее представление о пределах степени точности при различных видах обработки и лишь в весьма ограниченной мере могут быть использованы при разработке реального технологического процесса на существующем оборудовании. Можно привести ряд случаев, когда, руководствуясь этими данными без достаточно критического к ним отношения, вводили не вызываемые необходимостью дополнительные (так называемые вторичные) операции, усложняющие технологический процесс и значительно удорожающие стоимость обработки.

Б. Соблюдение требуемой точности путем автоматического получения размеров как исходный принцип построения технологических процессов в точном приборостроении

При индивидуальном производстве заготовка, подлежащая обработке, предварительно размечается. Процесс обработки обычно ведется по методу пробных проходов, заключающемуся в том, что для получения требуемого размера рабочий должен при обработке каждой детали произвести установку на стружку. Разметка является малопроизводительной и дорогой операцией. Точность обычных способов разметки ограничена и в ряде случаев является недостаточной. Обрабатывать детали по разметке должен квалифицированный рабочий.

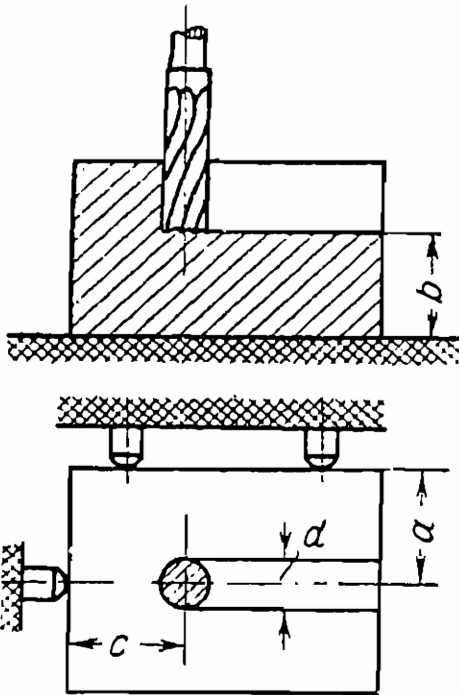
Теми же, в основном, недостатками обладает и метод пробных проходов.

Устранить указанные недостатки можно, построив операцию по принципу автоматического получения размеров. Осуществить этот принцип можно при помощи: 1) применения соответствующих инструментов, 2) предварительной настройки (наладки) станка.

Примерами операций, при которых размер получается автоматически за счет инструмента, могут служить сверление, зенкерование

и развертывание отверстий, обработка наружных цилиндрических поверхностей полый фрезой, фрезерование пазов, протягивание и т. п.

Принцип работы на настроенном станке нетрудно уяснить из следующего примера. Допустим, что нужно профрезеровать паз у детали, показанной на фиг. 4. Чтобы избежать разметки и установки на стружку, предварительно нужно: 1) закрепить на столе станка приспособление, обеспечивающее правильное положение заготовок; 2) установить стол в надлежащем вертикальном и поперечном положениях; 3) установить упор, ограничивающий продольное перемещение стола. Эта работа называется настройкой станка¹ и



Фиг. 4.

выполняется в большинстве случаев особым рабочим (наладчиком) один раз на партию. В процессе работы могут иметь место лишь периодические поднастройки. Детали обрабатываются при неизменном в вертикальном и поперечном направлениях положении стола путем его продольного перемещения, причем размеры a , b и c получаются автоматически путем настройки, а размер d — за счет диаметра фрезы.

В машиностроении при обработке крупных деталей вопрос построения операции по принципу автоматического получения размеров нередко существенного значения не имеет, так как время, затрачиваемое на разметку или на установку на стружку, составляет лишь незначительную часть от общего времени обработки².

В противоположность этому в точном приборостроении время, потребное для разметки или для установки на стружку, обычно во много раз превышает время обработки. Предположим, например, что требуется обточить стальную цапфу диаметром 3 мм и длиной 8 мм по 3-му классу точности. Принимая скорость резания 30 м/мин и подачу 0,05 мм/об., определяем основное технологическое время:

$$T_0 = \frac{8 \cdot \pi \cdot 3}{1000 \cdot 30 \cdot 0,05} \approx 0,05 \text{ мин.}$$

Считая вспомогательное время установки на стружку (по нормативам НКМ и НКОП) равным 0,73 мин., находим, что это время почти в 15 раз больше основного технологического. При меньших

¹ В настройку входят также закрепление режущих инструментов и установка устройств, определяющих режим работы, если последний не меняется в процессе выполнения операций.

² Разметка в машиностроении может быть допущена также и потому, что при обработке крупных деталей для устранения ее могут потребоваться громоздкие и весьма дорогие приспособления.

размерах обрабатываемых поверхностей это отношение делается еще больше.

При работе по принципу автоматического получения размеров производительность повышается за счет устранения потерь времени на разметку и на установку на стружку.

Следует также учесть и то, что при работе по принципу автоматического получения размеров рабочий может безбоязненно ускорять все вспомогательные движения, не опасаясь испортить обрабатываемую деталь. Кроме того, освободившись от «психологической нагрузки», он имеет возможность направить свою творческую энергию на усовершенствование операции.

Кроме повышения производительности труда, принцип автоматического получения размеров позволяет значительно целесообразнее использовать рабочую силу. Это имеет особенно существенное значение в точном приборостроении, где вследствие высоких требований к точности при работе по методу пробных проходов пришлось бы использовать преимущественно высококвалифицированных рабочих. Используя принцип автоматического получения размеров, текущую работу можно поручить малоквалифицированным рабочим, сохранив лишь небольшой штат высококвалифицированных наладчиков.

При построении технологических процессов в производствах точного приборостроения серийного, а тем более массового типа, необходимо исходить из соблюдения требуемой точности путем автоматического получения размеров, отказавшись от пробных проходов и разметки. Это заставляет нас подходить к разработке и осуществлению технологического процесса с особой тщательностью.

При работе по методу пробных проходов точность обработки зависит в первую очередь от рабочего, его квалификации и внимательности. При работе по методу автоматического получения размеров точность обработки обуславливается построением технологического процесса.

В. Классификация погрешностей и методы их оценки

Чтобы разработать технологический процесс, обеспечивающий точность, но без усложняющего и удорожающего производство «запаса точности», технолог должен иметь отчетливое представление о причинах, вызывающих погрешности в размерах и форме деталей, и уметь оценивать величину этих погрешностей.

Погрешности обработанных деталей разбиваются на две категории:

- 1) систематические погрешности постоянного характера;
- 2) рассеивание размеров.

Систематической погрешностью мы называем погрешность, вызываемую какой-либо определенной причиной (или совокупностью нескольких причин). К числу систематических погрешностей относится, например, увеличение диаметра обтачиваемого вала вследствие его прогиба под действием давления режущего инструмента.

Если бы факторы, от которых зависит величина систематических погрешностей, для всех деталей, обработанных при данном технологическом процессе, сохраняли постоянное значение, мы получили бы в результате обработки детали с отклонениями от теоретически правильных размеров и геометрических форм, но идентичные друг другу.

Каждое из систематических отклонений можно определить при помощи соответствующих аналитических расчетов или экспериментов¹.

Следует отметить, что существующие в настоящее время формулы, которые можно было бы использовать при определении погрешностей обработки, крайне несовершенны и относятся к частным случаям. Чтобы дать технологу такие руководящие материалы, которые содержали бы формулы и данные, позволяющие определять значения погрешностей, вызываемых каждой отдельной причиной, необходимо было бы предварительно провести бесчисленное количество сложных исследовательских работ.

То или иное отклонение по размеру или искажение формы детали вызывается обычно не одной какой-либо причиной, а представляет собою результат взаимодействия целого ряда погрешностей, складывающихся в одних случаях и взаимно компенсирующихся в других. Вследствие этого, если бы мы даже и располагали материалами, позволяющими определять каждую из погрешностей, вызываемых отдельными причинами, мы не могли бы все же оценить значения суммарной погрешности, характеризующей степень точности изготовления.

Чтобы решить подобную задачу, необходимо было бы в дополнение к формулам, определяющим значения отдельных погрешностей, разработать формулы типа

$$R = f(a, b...),$$

где R — суммарная погрешность,
 $a, b...$ — погрешности, вызываемые отдельными факторами.

Учитывая огромное разнообразие всех могущих встретиться сочетаний, мы вынуждены признать, что задача создания подобных формул в настоящее время вряд ли разрешима.

Более реальным следует считать создание на базе статистических данных нормативов, определяющих средние значения суммарных погрешностей для наиболее типичных случаев обработки. В настоящей главе мы даем лишь общий обзор причин, вызывающих систематические отклонения от размеров и формы. Более детально систематические погрешности рассматриваются во второй части книги применительно к обработке конкретных деталей — там, где та или иная погрешность имеет доминирующее значение (прогиб длинного

¹ К числу подобных исследований относятся, например, работа д-ра Кукебуша о влиянии деформаций токарного станка на точность обработки, работа инж. Шнеерсона о прогибе вала под действием давления резания, работа проф. Никифорова о прогибе борштанги при растачивании глубоких отверстий и др.

валика под действием давления резания, деформации тонкостенных втулок под действием зажимного усилия и т. д.).

Р а с с е и в а н и е р а з м е р о в выражается в том, что размеры отдельных деталей, обработанных при одном и том же технологическом процессе и замеренных в одном и том же месте, друг с другом не совпадают. Одной из основных причин, обуславливающих рассеивание размеров деталей, являются неизбежные в производственных условиях колебания факторов, от которых зависят размеры деталей, и износ режущего инструмента. Так, например, усилие резания, вызывающее погрешности вследствие деформаций детали, станка и инструмента, является функцией от механических свойств материала, его структуры, величины припуска и т. п.

Само собой разумеется, что требовать абсолютного постоянства всех этих факторов в производственных условиях не приходится. Исследования показывают, что материал, даже прошедший приемочные испытания, не является однородным. Так, согласно исследованиям ЦНИПС и Института металлов¹, предел текучести стали, даже прошедшей приемочные испытания, колеблется от 18 до 36 кг/мм².

В результате исследований, проведенных автором на ГПЗ им. Кагановича, выявилось, что колебания припусков на обработку и колебания твердости материала весьма существенно отражаются на размерах отверстий внутренних колец при их расточке на автомате. Такое же явление было обнаружено при протягивании заготовок для шестерен на автозаводе им. Сталина.

В равной степени неизбежны (при ручных зажимах) колебания деформирующей детали усилия при закреплении, температурные колебания и т. п. При литье усадка деталей колеблется в соответствии с колебаниями температуры и свойств металла.

Характеризовать рассеивание размеров при помощи обычных аналитических расчетов не представляется возможным. Для решения этой задачи приходится прибегать к методу больших чисел.

2. ОБЗОР ПРИЧИН, ВЫЗЫВАЮЩИХ СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ

Причины, вызывающие систематические погрешности при механической обработке, могут быть разделены на три основные категории:

- А. Деформации детали.
- Б. Неточности, износ и деформации инструментов.
- В. Неточности и деформации оборудования и приспособления.

А. Деформации детали

Деформации детали в отдельных случаях вызывают весьма существенные погрешности.

Необходимость устранения недопустимых деформаций детали оказывает весьма существенное влияние на содержание техноло-

¹ Проф. Н. Стрелецкий, О проблеме прочности стальных конструкций, газета «Техника» от 30 июня 1937

гического процесса, заставляя нередко применять сложные приспособления, вводить дополнительные операции и т. п.

Деформации деталей вызываются: зажимным усилием (при закреплении), усилием резания, собственным весом, нагревом, внутренними напряжениями, центробежной силой.

Деформации детали под действием зажимных усилий особенно сильно сказываются при закреплении малоустойчивых или тонкостенных изделий. Так, например, при растачивании кольца, зажатого в трехкулачковом патроне, деформации детали под действием давления зажима вызывают искажение формы отверстия (более подробно см. во второй части). Наиболее типичным примером деформаций, вызываемых давлением резания, может служить прогиб при обтачивании цилиндрических деталей с большим отношением длины к диаметру. Если деталь установлена в центрах, то при наличии прогиба резец, перемещаясь параллельно линии центров, будет снимать стружку различной толщины: наименьшую посередине, в месте максимального прогиба, наибольшую — по краям. Вследствие этого после выпрямления оси детали последняя будет иметь искаженную форму.

Упругие деформации детали под влиянием собственного веса, особенно сильно сказывающиеся при деталях со слабым сечением, могут быть в отдельных случаях источником совершенно недопустимых при точных работах погрешностей. Уменьшения этих деформаций можно добиться путем установки соответствующих опор, подкладок, люнетов и т. п.

Детали деформируются также под влиянием сил инерции неуравновешенных частей, главным образом при обработке на токарных и шлифовальных станках. В отдельных случаях деформации имеют столь существенное значение, что могут даже заставить отказаться от метода обработки, связанного с большой скоростью вращения изделия (например от алмазного обтачивания).

Влияние деформаций, происходящих вследствие нагрева детали, сказывается на результатах обмеров. Если измерить изделие в нагретом состоянии на станке, то конечные размеры, естественно, не будут совпадать с полученными при измерении.

Представление о том, какое значение имеет ошибка, происходящая вследствие нагрева изделия при обработке, нетрудно получить на основе следующих расчетов. Если, например, диаметр детали равен 150 мм, а изделие нагрелось до 50°, то при нормальной температуре в помещении 20°, принимая коэффициент расширения равным 0,000012 мм, получим ошибку, равную $0,000012 (50 - 20) \cdot 50 = 0,054$ мм.

Влияние нагрева может сказаться не только в виде ошибок при измерениях. Если, например, строгать изделие с одной стороны, а затем, не дожидаясь его охлаждения, начать обрабатывать противоположную сторону, форма изделия может исказиться.

Внутренние напряжения, вызывающие искажения изделия, могут появиться как при заготовительных операциях (отливка, ковка), так и при обработке на станках.

Причиной, вызывающей внутренние напряжения материала при отливке, является неравномерное остывание изделий. Массивные и расположенные при формовке внизу части изделия затвердевают позже, чем более легкие и расположенные сверху.

Сконструировать деталь так, чтобы остывание ее по высоте отливки было равномерным, обычно невозможно. Поэтому наиболее быстро охлаждающиеся части отливки препятствуют ее свободному сокращению. Это и является причиной, вызывающей внутренние напряжения.

Аналогичные явления могут иметь место и при других видах заготовительных операций.

На фиг. 5 приведена рентгенограмма латунной детали (изготовленной на заводе «Геофизика»), на которой ясно выражено явление астеризма, что служит показателем наличия внутренних напряжений.

После обдирки заготовки на станке внутренние напряжения перераспределяются, что влечет за собой соответствующие деформации изделия.

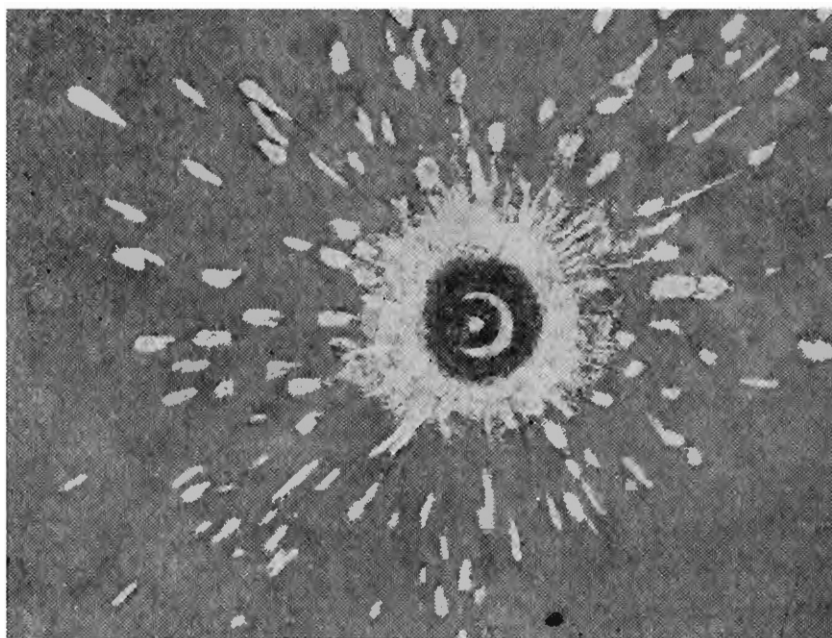
Изменение строения металла и происходящие вследствие этого внутренние напряжения вызываются также и самим процессом механической обработки.

Так, например, «обточка вызывает протяжку материала в поверхностном слое, который стремится укоротить прутки, чтобы сохранить нормальные размеры зерна. После снятия поверхностного слоя эти усилия устраняются, и материал под влиянием упругости возвращается в состояние покоя, что выражается в поддающемся измерению удлинении — до 5μ »¹.

При недостаточной жесткости детали (например при обтачивании тонких дисков, фрезеровании тонких реек), в особенности после обдирочных операций, они деформируются под действием внутренних напряжений.

Б. Износ режущего инструмента и его деформации

Износ режущего инструмента вызывает искажения формы детали. Строго говоря, эти искажения не имеют постоянного характера, так как резцы изнашиваются неравномерно. С другой стороны, вследствие малых размеров деталей точного приборостроения вели-



Фиг. 5.

¹ В. В е б е р, Естественное и искусственное старение закаленной стали, 1932.

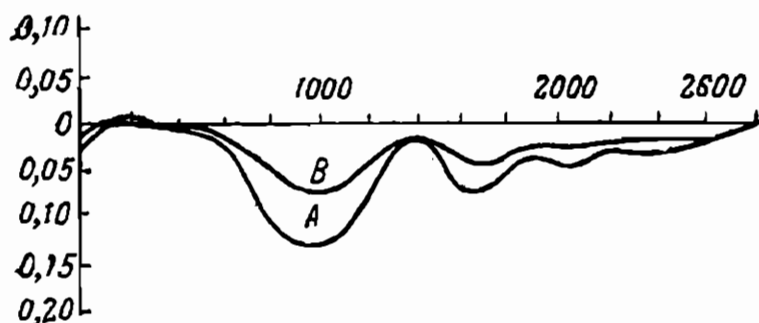
чина, на которую изнашивается режущий инструмент в процессе обработки одной детали, а следовательно, и соответствующая погрешность, в большинстве случаев имеют ничтожное значение.

Деформации инструментов могут вызвать недопустимые отклонения в точности обработки. Так, например, при сверлении глубоких отверстий деформация сверла является причиной, обуславливающей основную, трудно устранимую погрешность — отклонение и искривление оси отверстия. При расточке отверстий с большим отношением длины к диаметру прогиб резца изменяет размеры отверстия, а при меняющемся плече — искажает его форму.

В. Неточности, износ и деформации оборудования

Погрешности обработки происходят также вследствие неточностей изготовления станков, их износа и деформаций. Последние в свою очередь обуславливаются давлением резания, нагревом, неправильностями установки, влиянием неуравновешенных частей.

О неточностях изготовления станков можно судить на основе известных данных Шлезингера и соответствующих таблиц ОСТ,



Фиг. 6. Кривые износа направляющих токарного станка.

A—передняя грань; B—задняя грань.

дающих методы статических испытаний станков и нормы допустимых отклонений от точности.

Наиболее характерные погрешности, вызываемые неточностями оборудования, таковы: конусность (при токарных работах), происходящая вследствие перекаса направляющих по отношению оси цен-

трсов, эллиптичность вследствие биения шпинделя, вогнутость торцевой плоскости и т. п.

Первоначальные неточности станков могут во много раз увеличиться под действием износа. Здесь следует иметь в виду, что разбалтываются не только сопряжения шпинделя в подшипниках и т. п. но и такие, казалось бы, износоустойчивые части, как станина станка. Особенно пагубное влияние на точность обработки оказывает трудно устранимая неравномерность износа. Если, например, направляющие токарного станка в одном месте износились больше, чем в другом, то это неизбежно вызовет соответствующие колебания по диаметру обрабатываемого изделия.

Так, например, по записям ремонтного цеха завода револьверных станков у станка ТИ-20, находившегося впервые в ремонте, износ направляющих достигал 0,15 мм.

О неравномерности износа можно судить на основе построенных инж. И. А. Анапченко¹ кривых, часть которых показана на фиг. 6.

¹ Инж. Анапченко, Износ направляющих токарных станков, журн. «Станки и инструменты» за 1936 г.

Деформации станков по их характеру можно разбить на две категории: 1) деформации отдельных деталей станков; 2) деформации, обуславливаемые недостаточной жесткостью сочленений.

Вопрос о деформациях станков в настоящее время весьма мало исследован. К сожалению, существующие нормы точности станков касаются лишь станков в ненагруженном состоянии. Между тем деформации отдельных деталей станков, а в особенности, как показали исследования инж. Вотинова, недостаточная жесткость сочленений, являются в ряде случаев доминирующими из причин, вызывающих погрешности у обрабатываемой детали.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕИВАНИЯ РАЗМЕРОВ МЕТОДОМ БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ ¹

А. Общие положения

Определение рассеивания размеров методом больших чисел заключается в следующем. Предположим, что при каком-либо установленном технологическом процессе, проводимом в нормальных цеховых условиях, мы обработали партию деталей и измерили их точным измерительным инструментом.

Выявить закономерность рассеивания размеров нагляднее всего можно при помощи так называемых кривых распределения, сущность и метод построения которых легко уяснить из следующего примера. В 1937 г. автором с точностью до 1μ была замерена партия осей центрального триба, изготовленных на 1-м часовом заводе. Разобьем эти данные на интервалы по 5μ и сосчитаем, какое количество деталей имеет размеры в пределах каждого интервала. Полученные результаты сведены в табл. 1, где в 3-м и 7-м столбцах ука-

Таблица 1

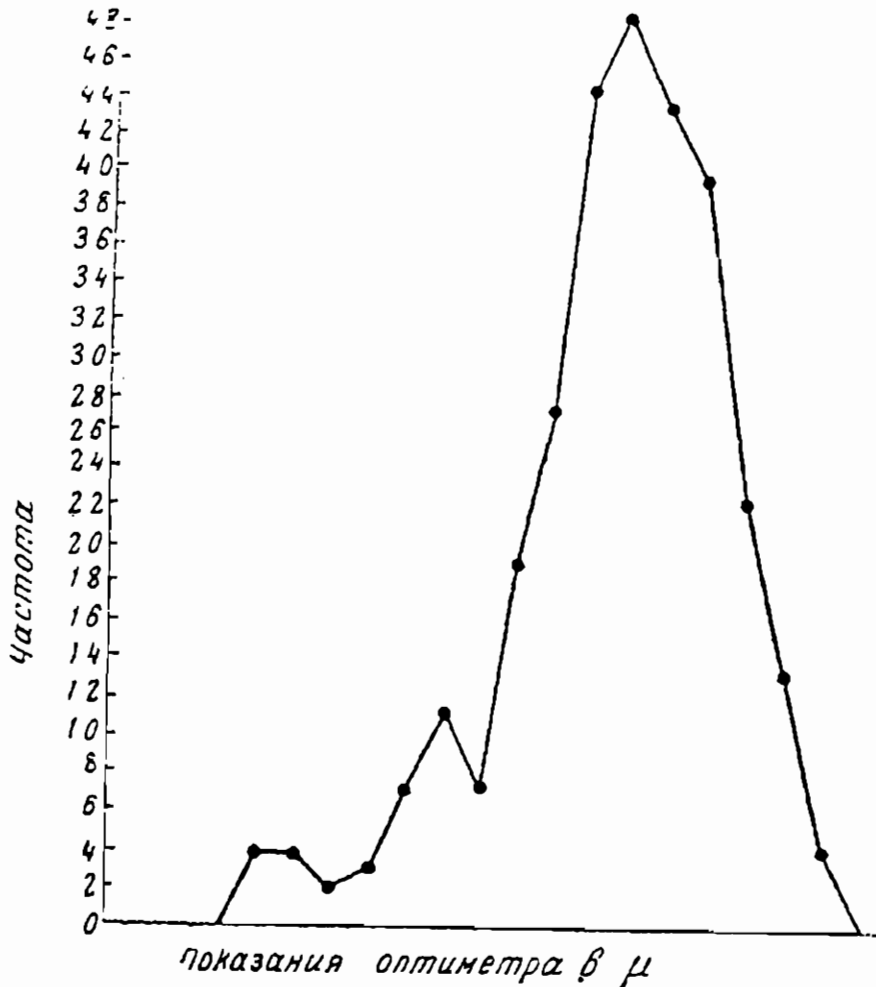
Таблица распределения диаметров цапф центрального триба (показания оптиметра)

Интервалы в μ		Абсолютная частота m	Частота m/n	Интервалы μ		Абсолютная частота m	Частота m/n
от	до			от	до		
-66	-61	4	0,013	-26	-21	27	0,091
-61	-56	4	0,013	-21	-16	44	0,149
-56	-51	2	0,007	-16	-11	48	0,164
-51	-46	3	0,010	-11	-6	41	0,139
-46	-41	7	0,024	-6	-1	39	0,132
-41	-36	11	0,037	-1	+4	22	0,075
-36	-31	7	0,024	+4	+9	13	0,440
-31	-26	19	0,065	+9	+14	4	0,013
						$\Sigma m = n =$ =295	1,0

¹ По вопросу о приложении метода больших чисел к разрешению производственных вопросов см. К. Девес, Промышленные исследования методом больших чисел, Металлургиядат, 1934, и Беккер, Пляути Рунге, Применение математической статистики к проблемам массового производства, ОНТИ, 1933.

зана частота, т. е. количество деталей, имеющих размеры в пределах данного интервала, а в 4-м и 8-м столбцах — отношение частоты к общему количеству замеренных деталей.

На основе данных табл. 1 построим график (фиг. 7), где по оси абсцисс отложим размеры, по оси ординат — частоту m или частоту m/n . Полученная ломаная линия, превращающаяся в кривую при безграничном увеличении числа интервалов, называется кривой распределения. На фиг. 8 показана кривая распределения, по-

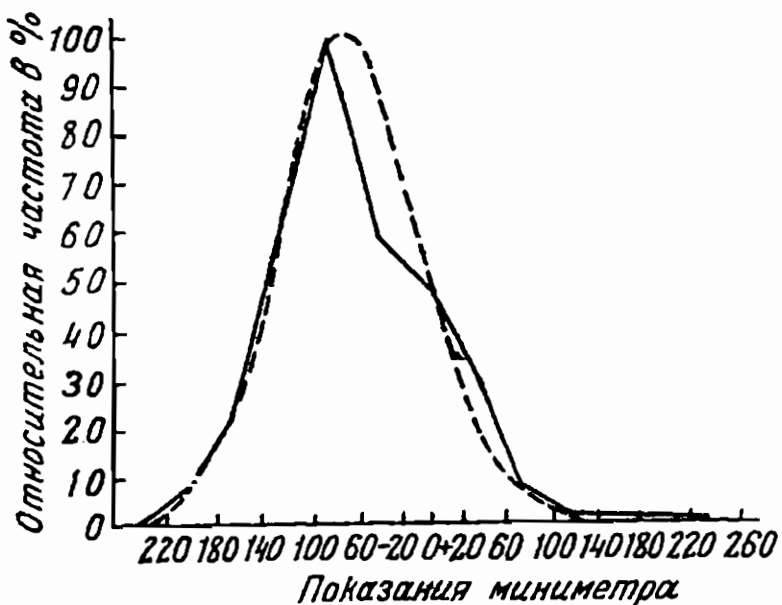


Фиг. 7. Кривая распределения диаметров цапф центрального триба.

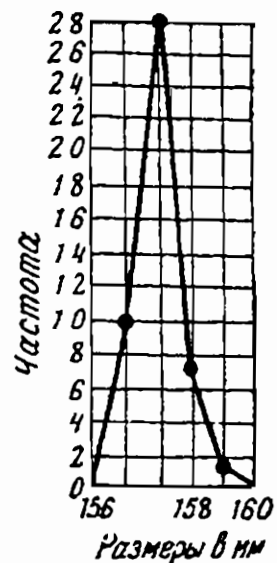
строенная нами на основе замера отверстий у колец шарикоподшипника, расточенных на автомате (на 1-м ГПЗ им. Кагановича). В приведенных примерах показаны кривые распределения действительных размеров, определяемых показаниями оптиметра (для центрального триба) и миниметра (для кольца шарикоподшипника).

Совершенно очевидно, однако, что форма кривой не изменится, если по оси абсцисс вместо размеров L_i мы будем откладывать соответствующие погрешности $L_i - L_0$, где L_0 — любое постоянное число, рассматриваемое нами как значение теоретически правильного размера.

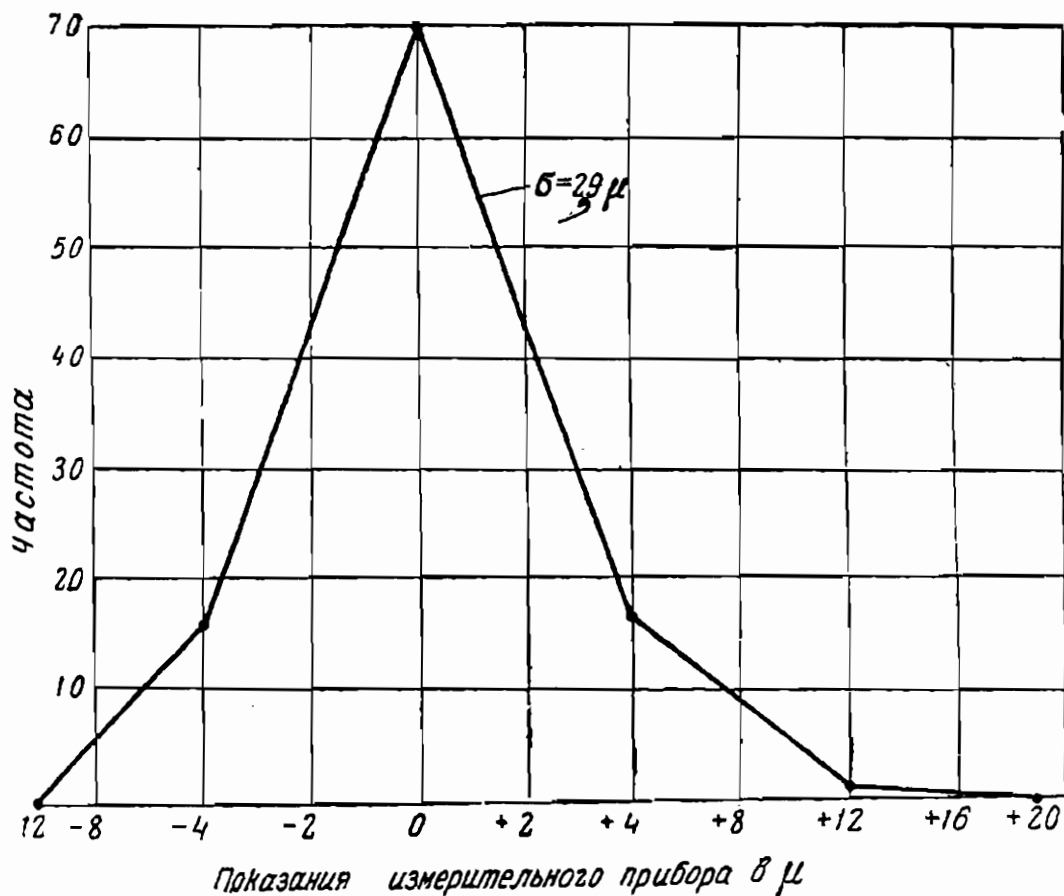
При помощи кривых распределения можно характеризовать погрешности не только в размерах, но и отступления от геометрической формы: эллиптичность, конусность, отступления от перпендикулярности или параллельности и т. п.



Фиг. 8. Кривая распределения диаметров отверстий колец шарикоподшипника.



Фиг. 9. Кривая распределения размеров отливок.



Фиг. 10. Кривая распределения размеров деталей, штампованных в горячем состоянии.

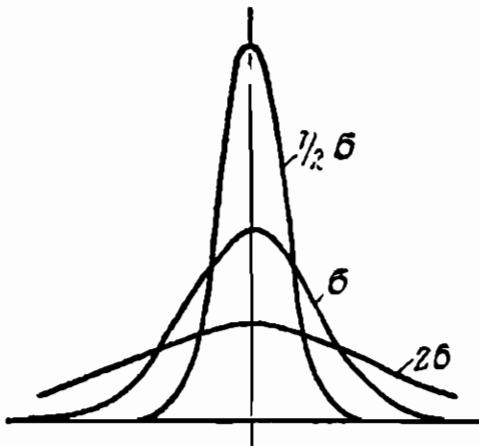
На фиг. 9 показана кривая распределения размеров отливок, а на фиг. 10 — латунных деталей, штампованных в горячем состоянии¹.

Кривую распределения размеров обработанных деталей можно сравнить с индикаторной диаграммой двигателя. Подобно тому как диаграмма характеризует работу органов парораспределения, кривая распределения является основной характеристикой технологического процесса в отношении точности обработки.

Если обработать две партии деталей, сохранив в обоих случаях технологический процесс практически неизменным, то соответствующие кривые распределения будут совпадать друг с другом в такой же степени, в какой совпадают друг с другом индикаторные диаграммы одного и того же или одинаковых двигателей, эксплуатируемых в одинаковых условиях. Наоборот, если между двумя технологическими процессами существует расхождение, существенно влияющее на точность обработки, соответствующие кривые распределения будут отличаться друг от друга либо по форме, либо положением вершины, либо и тем и другим.

Б. О законе распределения размеров деталей

Из кривых распределения, рассматриваемых в курсах математической статистики, наибольшее значение имеет кривая, носящая название кривой нормального распределения, или кривой Гаусса (фиг. 11).



Фиг. 11. Кривые нормального распределения.

Уравнение этой кривой выводится на основании принципов теории вероятности, причем в основу кладется предположение, что рассматриваемое явление обуславливается взаимодействием большого количества причин случайного характера, т. е. таких причин, для которых вероятность значений, равных по абсолютной величине, но отличных по знаку, одинакова.

Поскольку математический вывод нормального закона распределения довольно сложен, мы считаем возможным его опустить и приводим уравнение кривой Гаусса в его окончательном виде, а именно:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_i - L_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}},$$

где $L_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое из действительных размеров, равное

$$L_{\text{ср}} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n} = \frac{\sum L_i}{n}.$$

¹ Кривая построена слушателем лекций автора инж. Л. М. Гальпериним.

В тех случаях, когда по оси абсцисс откладываются не размеры, а погрешности, вместо L_i будем вводить соответственно обозначения $\tau = L_i - L_{\text{ср}}$.

В приведенной выше формуле среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{(L_1 - L_{\text{ср}})^2 + (L_2 - L_{\text{ср}})^2 + \dots + (L_n - L_{\text{ср}})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (L_i - L_{\text{ср}})^2}{n}}.$$

Так как в приведенном уравнении величина σ входит в показатель при e в квадрате, то для значений σ , одинаковых по абсолютной величине, но различных по знаку, y имеет одинаковое значение, т. е. кривая распределения симметрична относительно среднего значения. Чем меньше среднее квадратическое отклонение σ , тем больше абсолютное значение показателя при e , т. е. тем быстрее уменьшается y , тем круче падение кривой. Кроме того, чем меньше σ , тем больше множитель перед e , тем, следовательно, больше значение ординаты, соответствующей среднему арифметическому.

Таким образом чем меньше σ , тем круче кривая. Наоборот, чем больше σ , тем более пологой делается кривая, тем меньше ордината, соответствующая среднему арифметическому.

На фиг. 11 приведены три кривые Гаусса с различными средними квадратическими отклонениями.

Найдем точку перегиба кривой, для чего вторую производную приравняем нулю:

$$y'' = \frac{1}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_i - L_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}} \left(\frac{L_i - L_{\text{ср}}}{\sigma^2} - 1 \right) = 0;$$

$$\frac{L_i - L_{\text{ср}}}{\sigma^2} - 1 = 0; \quad L_i - L_{\text{ср}} = \pm \sigma.$$

Следовательно, кривая имеет перегиб в двух точках, симметрично расположенных от среднего арифметического на расстоянии $\pm \sigma$. Форма кривой Гаусса, таким образом, всецело определяется значением среднего квадратического отклонения.

Причины, вызывающие погрешности, имеющие для всех деталей постоянное значение, отражаются лишь на значении среднего арифметического, а следовательно, и на положении кривой распределения, но не влияют на ее форму.

Если, например, обработать две партии деталей двумя одинаковыми и работающими в совершенно одинаковых условиях развертками, отличающимися, однако, друг от друга лишь по диаметру, то соответствующие кривые распределения будут иметь одинаковую форму, но будут смещены друг по отношению к другу (фиг. 12).

Почти все авторы, производившие соответствующие исследования, приходят к выводу, что кривые распределения размеров деталей, обработанных как на металлорежущих станках, так и другими методами, подчиняются нормальному закону распределения.

Так, например, инж. В. Пивовар, рассматривая в сводной статье кривые из различных литературных источников, делает следующий

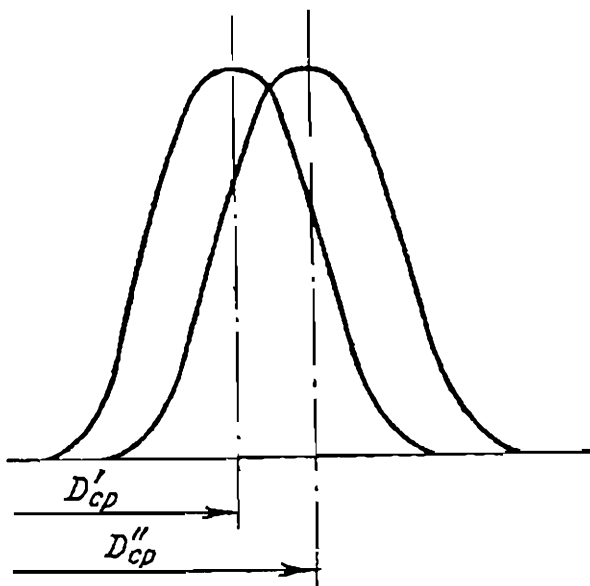
вывод: «На основе всех рассмотренных нами материалов по вопросу распределения деталей валиков и деталей отверстий (при условии обработки деталей по предельным калибрам) мы можем констатировать, что данные всех исследований, проведенных до настоящего времени, приводят к выводу о безусловной применимости закона больших чисел в данном случае и об удовлетворительном совпадении получаемых кривых с теоретическими кривыми»¹.

При исследованиях, произведенных на 1-м ГПЗ им. Кагановича, на автозаводе им. Сталина, на 1-м часовом заводе и др., действительные кривые распределения, полученные автором, достаточно близко совпадали с кривыми Гаусса.

Проф. Шмальтц в качестве предпосылки для своих дальнейших выводов² считает установленным, что распределение размеров де-

талей, обрабатываемых на металло-режущих станках, соответствует кривым Гаусса.

Несмотря на приведенные данные, утверждение о том, что распределение размеров деталей должно подчиняться нормальному закону, не может все же рассматриваться как непреложная для всех случаев истина, вытекающая из сущности самих явлений. Хотя огромный материал, изученный статистикой в самых различных областях, показывает, что закон нормального распределения имеет очень большое поле приложения, однако, как правильно указывает



Фиг. 12.

академик С. Бернштейн, «закон Гаусса или нормального распределения вероятностей не имеет универсального характера, и нужно признать, что нередко его прилагают без достаточных оснований, главным образом ради его математической простоты»³.

С другой стороны, если бы кривые распределения размеров деталей подчинялись нормальному закону, то расчеты, связанные с разрешением таких проблем, как определение точности обработки, настройка станка, выборочный контроль, сборка по методу подбора и т. д., были бы весьма упрощены. Это обстоятельство имеет чрезвычайно важное значение в производственных условиях, где длительность расчетов может заставить отказаться от применения самого метода. Кроме того, не следует забывать, что при разрешении подобных вопросов можно говорить лишь о приближенных результатах, причем допустимые колебания составляют 25% и более. Так, например, для практических целей вполне достаточно было бы указать, что для такой-то операции точность обработки колеблется

¹ «Вестник металлопромышленности», 1935, № 9.

² S c h m a l t z, Technische Oberflächenkunde.

³ Акад. С. Б е р н ш т е й н, Теория вероятностей, ОНТИ, 1934.

в пределах 0,1—0,13 мм или что количество деталей, подлежащих дополнительной обработке, будет равно 8—10%.

Вследствие этого с практической точки зрения нет смысла обсуждать вопрос о точном совпадении действительных кривых распределения с кривыми Гаусса, а достаточно в каждом конкретном случае выяснить, с какой степенью приближения кривая распределения, характеризующая точность обработки при данной операции, подходит к кривой распределения Гаусса, и является ли это приближение достаточным для того, чтобы при расчетах можно было с приемлемой для практических целей точностью руководствоваться зависимостями, имеющими силу по отношению к соответствующей кривой Гаусса.

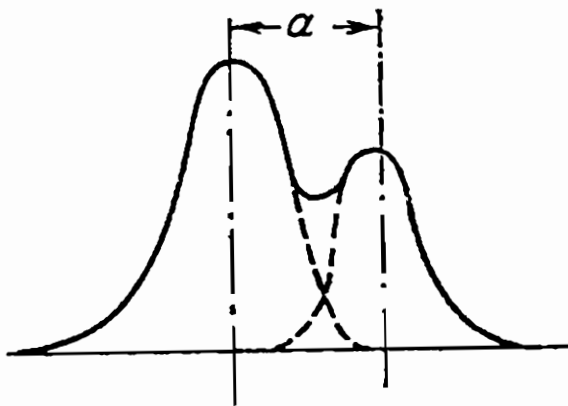
Имеющиеся у нас практические данные позволяют на поставленный в такой форме вопрос ожидать в ряде случаев положительный ответ.

В тех же случаях, когда действительное распределение столь явно отличается от нормального, что использование соответствующих зависимостей может привести к неверным результатам, необходимо либо попытаться подобрать какую-либо другую из известных в математической статистике кривых распределения, либо вывести новую эмпирическую формулу, лучше отражающую закон распределения для данного вида обработки¹.

В. Многовершинные кривые распределения

Как общее положение можно принять, что многовершинные кривые распределения получаются в тех случаях, когда технологический процесс неоднороден. Неоднородным мы называем технологический процесс, при котором не все изделия обрабатывались в одинаковых условиях, вследствие чего они могут быть подразделены на группы с резко выраженной разницей в значениях среднего арифметического размеров.

Один из слушателей курсов повышения квалификации инженеров предъявил автору построенную им на основе практических данных кривую распределения для операции сверления, аналогичную показанной на фиг. 13. С первого взгляда ясно, что технологический процесс, характеризуемый этой кривой, был неоднородным. И, действительно, из дальнейших расспросов выяснилось, что в результате первой сверловки у одних деталей диа-



Фиг. 13. Кривая распределения для партии, состоящей из двух групп деталей, обработанных различными способами.

¹ В настоящее время в Институте машиноведения Академии наук СССР организуется проведение подобной работы под руководством автора.

метр отверстий оказался сразу в пределах допуска, у других же — меньше проходной стороны калибра, вследствие чего их пришлось дополнительно пройти вторым сверлом. Последнее обстоятельство и вызвало появление на кривой распределения второй вершины. Показанную на фиг. 13 кривую можно рассматривать как состоящую из двух самостоятельных кривых.

Аналогичные кривые распределения могут получиться, если за- мерить партию деталей, состоящую из нескольких групп, обрабо- танных инструментами хотя и одного типа (например развертками), но с размерами, существенно отличающимися друг от друга, отли- тых по разным моделям и т. п.

Двухвершинная кривая была получена инженерами автозавода им. Сталина Чартовым и Михайловой на основе обмера изделий, обработанных на двухшпиндельном фрезерном станке «Цинцинати» при двух настройках.

Если смешать три группы деталей (при трех инструментах или трех настройках), мы получим соответственно кривую с тремя верши- нами, при четырех — с четырьмя и т. д. При этом, однако, необхо- димо, чтобы количества изделий в различных группах были прибли- зительно равны друг другу. В противном случае одна из вершин может принять форму бокового уступа. Если смешать много групп, то различные вершины будут взаимно сглаживаться, и в результате может получиться одновершинная кривая (фиг. 8), но значительно более пологая (с большим средним квадратическим отклонением), чем отдельные кривые.

Требование однородности относится не только к процессу из- готовления изделий, но в равной степени и к процессу измерений. Допустим, например, что при обтачивании партии валов имеет ме- сто существенный прогиб, вследствие чего диаметр посередине по- лучится больше, чем по краям. Если одну часть валов измерить посередине, а другую по краям, то построенная на основе этих за- меров кривая распределения будет иметь две вершины.

То обстоятельство, что многовершинность кривых распределения сигнализирует о неоднородности технологического процесса, имеет весьма важное значение. Получив кривую с двумя значительно уда- ленными друг от друга вершинами, производитель ясно видит, что точность обработки определяется не только совокупным влия- нием большого количества мелких производственных факторов, но в первую очередь обуславливается принципиальными расхождениями в условиях обработки.

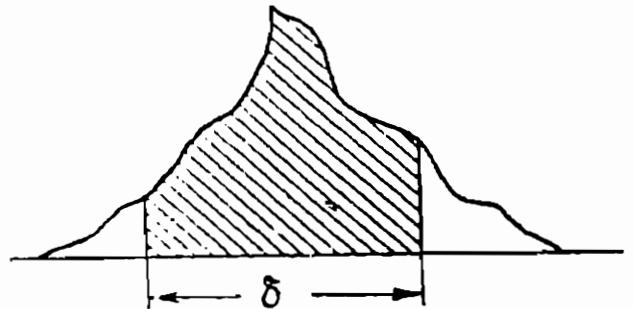
Г. Вероятность соблюдения заданного допуска

Зная, какую форму имеет кривая распределения и как она рас- положена по отношению к полю допуска, мы можем определить относительное количество деталей, имеющих размеры в пределах допуска. Это количество характеризуется отношением заштрихован- ной площади (фиг. 14) ко всей площади кривой распределения. Если кривая распределения подчиняется нормальному закону, то указан-

ное относительное количество деталей можно определить, исходя из следующей предпосылки: вероятность того, что размеры изделий не будут отличаться от среднего арифметического на величину, большую, чем $\pm x_0$ (фиг. 15), равняется

$$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-x_0}^{+x_0} e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}} dL.$$

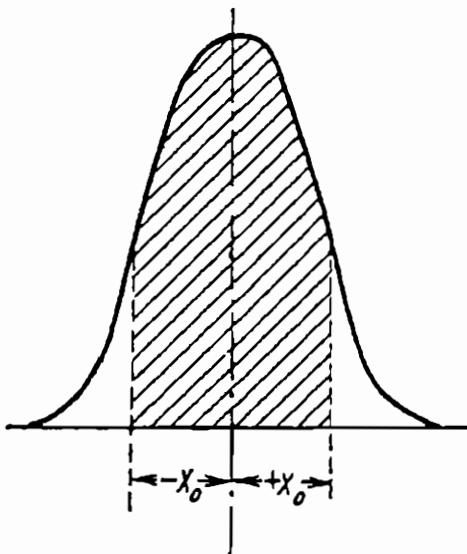
Независимо от формы кривой и от ее среднего квадратического отклонения, значение приведенного интеграла определяется отношением $z = \frac{x_0}{\sigma}$ и обозначается $\Phi(z)$. Чтобы устранить необходимость сложных вычислений в каждом отдельном случае, в приложении 3 приведены в зависимости от z цифровые значения, характеризующие величину площади (в виде доли всей совокупности, принимаемой за 1), ограниченной ординатами $\pm x_0$.



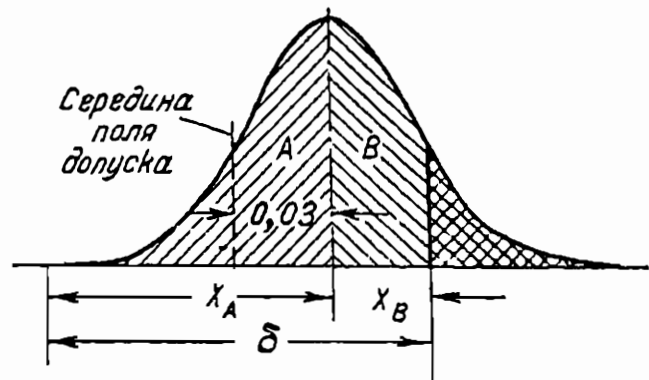
Фиг. 14.

Пусть, например, требуется обточить партию валиков $\varnothing 20_{-0,1}$.

Допустим, что на основании предыдущих исследований установлено, что при намеченной операции кривая распределения подчиняется закону нормального распределения со средним квадратическим отклонением $\sigma = 0,025$ мм, причем вершина кривой смещена на 0,03 мм от середины поля допуска в сторону проходной стороны калибра (фиг. 16).



Фиг. 15.



Фиг. 16.

Площадь, определяющая вероятность получения годных деталей, может быть разбита на две части: А и В. В соответствии с этим вероятность получения годных деталей равняется

$$w = 0,5 [\Phi(z_A) + \Phi(z_B)],$$

где

$$z_A = \frac{x_A}{\sigma} = \frac{\frac{\delta}{2} + 0,03}{\sigma} = \frac{0,05 + 0,03}{0,025} = 3,2;$$

$$z_B = \frac{x_B}{\sigma} = \frac{\frac{\delta}{2} - 0,03}{\sigma} = \frac{0,05 - 0,03}{0,025} = 0,8;$$

δ — допуск на изделие, равный 0,1.

По приложению 3 находим:

при $z_A = 3,2$ $\Phi(z_A) = 0,9986;$

при $z_B = 0,8$ $\Phi(z_B) = 0,5762.$

Вероятность получения годных изделий $w = 0,5 (0,9986 + 0,5762) = 0,7869 = 79\%$, причем вероятность получения действительных размеров, меньших, чем размер непроходной стороны предельного калибра, практически равна нулю $(0,5 - \frac{0,9986}{2})$, а вероятность действительных размеров, бóльших, чем размер проходной стороны калибра, равна $0,5 - \frac{0,5762}{2}$, т. е. 21%.

Если кривая распределения подчиняется закону Гаусса, то, зная значение σ и задаваясь степенью вероятности, можно легко решить и обратную задачу, т. е. определить значение x_0 .

Пусть, например, $\sigma = 0,02$ мм и требуется определить x_0 с вероятностью 90%. При $\Phi(z) = 0,9$ находим, что

$$z = \frac{x_0}{\sigma} \approx 1,6,$$

а

$$x_0 = z\sigma = 1,6 \cdot 0,02 = 0,032 \text{ мм.}$$

При определении x_0 с практически стопроцентной вероятностью можно принимать $x_0 = 3\sigma$ [при этих условиях $\Phi(z) = 0,9973$].

Д. Исследование технологических процессов при помощи кривых распределения

На основе сопоставления кривых распределения друг с другом можно в цеховых условиях исследовать технологический процесс и наглядно представить, как отражается изменение того или иного из отдельных факторов на точности обработки.

Предположим, мы имеем кривую распределения, характеризующую точность обработки при существующем технологическом процессе. Введем какое-либо принципиальное изменение одного из отдельных факторов. Допустим, что кривая распределения, построенная на основе замера деталей после внесения изменения, существенно отличается от первоначальной кривой. Если нам известно, что в отношении всех прочих факторов в обоих случаях имеют место лишь нормальные производственные колебания, то столь существенное различие в форме и положении кривых не может быть, очевидно, объяснено не чем иным, как введением указанного принципиального изменения.

Если бы, наоборот, кривые распределения до введения изменения и после него мало отличались друг от друга, можно было бы вывести заключение, что внесенное изменение существенного влияния на точность обработки не оказывает. Таким образом изменение кривой распределения может служить объективным критерием для оценки влияния на точность обработки того или иного из факторов.

На фиг. 17 показаны две кривые распределения, построенные автором на основе замера цапф у одной и той же партии осей центрального триба: до отделки на станке типа «Стандарт» (кривая А) и после отделки (кривая В). Из сопоставления кривых распределения ясно видно, что вопреки общепринятому мнению рассеивание размеров после отделки не только не уменьшилось, но даже увеличилось. Значения среднего квадратического отклонения оказались соответственно равными 9 и 12 μ .



Фиг. 17. Кривые распределения диаметров цапф осей центрального триба до отделки и после.

Выше указывалось, что определение систематических погрешностей при помощи аналитических расчетов и лабораторных экспериментов в ряде случаев является делом весьма сложным. Сплошь и рядом эту задачу можно разрешить значительно проще, пользуясь методом больших чисел. Так, например, если мы хотим определить значение погрешности, вызываемой прогибом вала, то для этого нужно у партии обработанных валов измерить диаметры в двух местах (посередине и у одного из краев) и построить соответствующие кривые распределения. Расстояние между вершинами кривых определит среднее значение искомой погрешности.

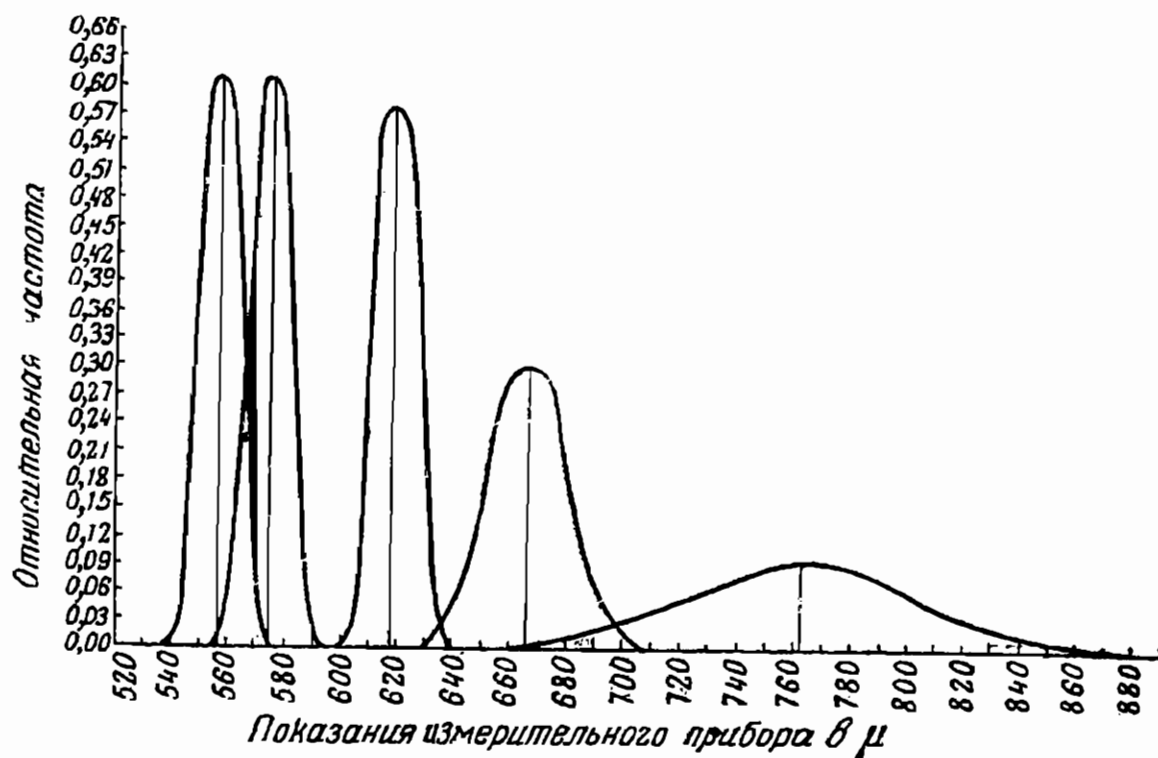
Важно отметить, что, наблюдая одновременно за перемещением вершины и изменением формы кривой, мы можем не только дать ответ на вопрос, как изменилось значение средней погрешности, но также судить об изменении степени рассеивания размеров.

В качестве примера приведем результаты исследований шлифовки поршневого пальца, проведенных нами на автозаводе им. Сталина.

Пальцы шлифуются на бесцентрово-шлифовальных станках. Каждый палец подвергается последовательно шести операциям.

Первые три операции производятся на станке ТОЗ, четвертая, пятая и шестая (именуемая на заводе полировкой) операции — на станках фирмы «Цинцинати».

Цель исследований — выявить, как изменяются размеры изделий по мере осуществления каждой из операций. Исследования производились над партией в 310 (в среднем) деталей. После каждой операции детали замерялись и на основе полученных данных строились кривые распределения, а также определялись значения среднего арифметического и среднего квадратического отклонений.



Фиг. 18. Кривые распределения диаметров поршневых пальцев после бесцентрового шлифования.

После первых пяти операций детали замерялись синхрометром Цейсса, после шестой операции — оптиметром Цейсса.

Из сравнения кривых распределения (фиг. 18) и значений среднего квадратического отклонения видно, что, если после первых операций рассеивание резко уменьшается, то после четвертой и пятой оно остается практически неизменным. Это заставляет думать, что путем дальнейшего увеличения числа операций без каких-либо дополнительных усовершенствований вряд ли удалось бы существенно повысить точность обработки.

Кроме того, полученные данные позволяют судить о том, как в среднем изменяются размеры деталей после каждой из операций.

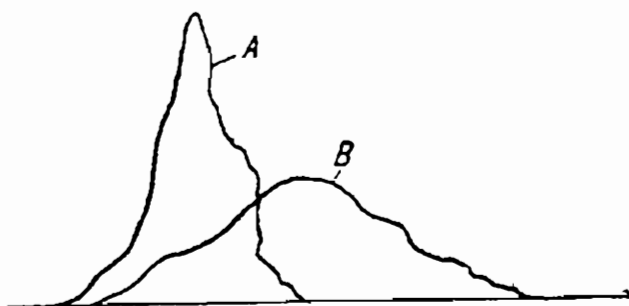
Основные преимущества исследований, проводимых по методу больших чисел, по сравнению с обычными лабораторными исследованиями заключаются в следующем. Метод больших чисел универсален. Пользуясь этим методом, мы можем выявить, как влияет на точность обработки любой из отдельных факторов, любое из интересующих нас мероприятий.

Предположим, мы имеем два сорта охлаждающих жидкостей и хотим сравнить их влияние на разбивку отверстий при разверты-

вании. Возьмем партию одинаковых деталей и разделим ее на две равные группы. При обработке первой группы деталей будем пользоваться одним сортом жидкости, при обработке второй группы — другим. Обрабатывать детали будем на одном и том же станке, при одинаковых развертках и неизменных прочих условиях. Допустим, что кривые распределения, построенные на основе замера каждой из групп после обработки отдельно, имеют форму, показанную на фиг. 19.

Разбивка отверстий обуславливается не только сортом охлаждающей жидкости, но так как все прочие факторы, обуславливаемые станком, инструментом и т. д., в обоих случаях одинаковы, можно с достаточной уверенностью сделать вывод, что при применении сорта, соответствующего кривой А, меньше и средняя величина разбивки и рассеивание размеров.

Пользуясь методом больших чисел, можно объективно оценить качество ремонта станка в отношении точности обработки. Для этого достаточно сравнить кривые распределения, построенные в периоды, предшествующий ремонту и непосредственно после ремонта.



Фиг. 19.

Приведем еще один пример. Существует мнение, что при работе по методу пробных проходов, где точность в значительной степени обуславливается внимательностью рабочего, обрабатывать точные детали следует лишь в первую смену. Чтобы установить, в какой степени это мнение является справедливым для какой-либо конкретной операции, следует сгруппировать по сменам детали, обработанные при неизменных во всех прочих отношениях условиях (одним и тем же рабочим и на одном и том же станке), измерить их и построить соответствующие кривые распределения. Располагая подобными материалами для различных операций, можно сделать выводы и общего характера о влиянии сменности на точность обработки. Подобным же образом можно, пользуясь методом больших чисел, решать и другие задачи, недоступные для обычных методов исследования.

«Это может быть, конечно, делом случая, но автору не приходилось в более близкой ему области производства обработки стали натолкнуться на такой вопрос, касающийся качества продукции, которого не удалось бы удовлетворительно разрешить посредством исследований методов больших чисел»¹.

Второе преимущество метода больших чисел заключается в следующем. Результаты лабораторных исследований, проведенных в искусственно созданной обстановке, не всегда могут быть исполь-

¹ К. Девес, Промышленные исследования методом больших чисел, Металлургиздат, 1934.

зованы непосредственно на производстве вследствие отсутствия той устойчивости в условиях работы, которая имела место при проведении лабораторных исследований.

Кроме того, достоверность выводов из исследований, проведенных по методу больших чисел, обуславливается еще тем, что они получаются в результате обработки многочисленных данных, количество которых во много раз превышает таковое при обычных лабораторных исследованиях.

Пользуясь методом больших чисел, производитель может, не отрываясь от своей повседневной работы, непрерывно наблюдать за технологическим процессом.

Из приведенных рассуждений ни в коем случае, однако, не следует делать вывода, что обычные расчетные и лабораторные методы вообще не могут быть использованы при исследованиях, связанных с точностью обработки. Указанные методы и метод больших чисел не исключают, а взаимно дополняют друг друга. Применяя метод больших чисел, мы можем лишь установить, как влияет на точность обработки тот или иной фактор. Если же мы хотим исследовать вопрос более глубоко и выяснить причинную зависимость, то придется прибегнуть уже к соответствующим расчетам или лабораторным исследованиям. Всякого рода выводы обобщающего характера приобретают особую достоверность, если они подтверждаются одновременно и расчетно-лабораторным методом и методом больших чисел.

Весьма малое применение метода больших чисел при исследовании вопросов, связанных с точностью обработки на металлорежущих станках; в первую очередь объясняется незнанием с этим методом наших инженерно-технических работников.

4. РАССЕИВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПРИ СТАНОЧНОЙ ОПЕРАЦИИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ПРИНЦИПУ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Причины, вызывающие рассеивание размеров при станочной операции, построенной по принципу автоматического получения размеров, можно разделить на три группы:

1) причины, непосредственно связанные с данным видом обработки как таковым;

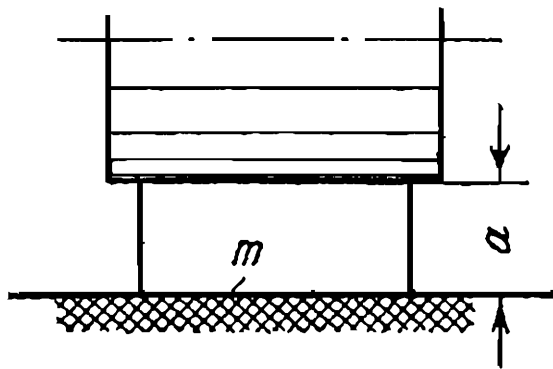
2) погрешности настройки и неточности изготовления режущих инструментов;

3) колебания в положении заготовок при их установке.

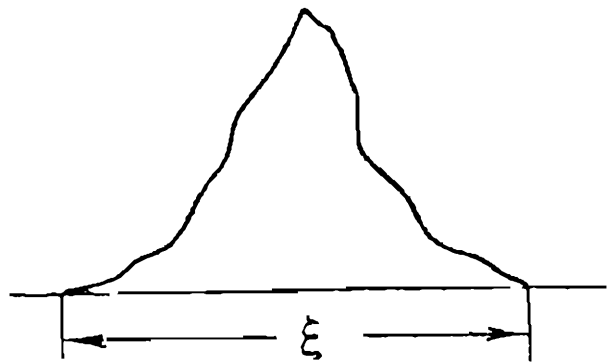
Допустим, например, что, настроив станок, мы обработали партию деталей (фиг. 20) одной фрезой и при неизменном в вертикальном направлении положении стола. Замерив обработанные детали, нетрудно будет убедиться, что размеры их не равны друг другу. Обозначим базу этого рассеивания, т. е. разность между наибольшим и наименьшим из размеров деталей, через ξ (фиг. 21).

Теперь предположим, что мы вторично настроили станок и обработали другую партию деталей. Установить вторично при настройке стол станка так, чтобы он занял положение, в точности совпадающее с положением стола при обработке первой партии,

не представляется возможным. Очевидно, что размеры деталей первой партии будут отличаться от размеров деталей второй партии на величину, определяемую разницей в положении стола при соответствующих настройках.



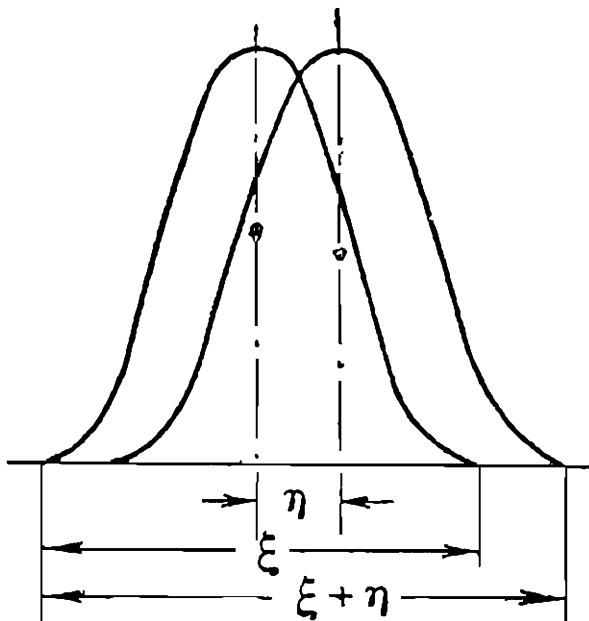
Фиг. 20.



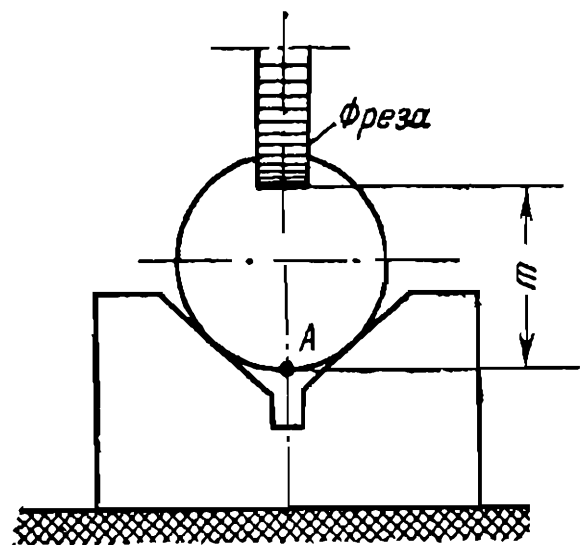
Фиг. 21.

Вследствие этого, рассматривая вопрос о рассеивании размеров, необходимо учесть и расхождения между размерами деталей в партиях, обработанных при разных настройках¹.

Базу расхождений, вызываемых неизбежными погрешностями процесса настройки, обозначим через η (фиг. 22). Аналогичная картина получается и при таких операциях, как, например, развертывание, фрезерование пазов и т. д.



Фиг. 22.



Фиг. 23.

Погрешностям настройки здесь соответствуют колебания диаметров разверток, ширины фрез и т. п. Величина η в этом случае равна допуску на размер инструмента.

Чтобы получить представление о том, как влияют на рассеивание размеров колебания в положении заготовок при их установке, рассмотрим пример, показанный на фиг. 23. Предположим, что обра-

¹ Для каждой партии в отдельности погрешности настройки вызывают у всех деталей систематическое отклонение постоянного характера.

ботка производится полностью при тех же условиях (тот же станок, фреза, режим работы и т. д.), что и в случае, показанном на фиг. 20. Будут ли размеры деталей в обоих случаях рассеиваться в одинаковых пределах?

Нетрудно убедиться, что при обработке согласно фиг. 23, кроме рассеивания, вызываемого причинами, связанными с видом обработки как таковым, возникает еще рассеивание размеров деталей вследствие того, что заготовки с различными диаметрами (в пределах соответствующего допуска) будут занимать разные положения.

Базу рассеивания, вызываемого различным положением заготовок при установке, обозначим через ϵ .

Если систематических отклонений нет (или, вернее, они имеют весьма малое значение), выдержать проставленный на чертеже допуск δ можно при условии, если

$$\xi + \eta + \epsilon \leq \delta. \quad (A)$$

В тех случаях, когда отклонения систематического характера имеют существенное значение и пренебрегать ими нельзя, неравенство (A) приобретает вид:

$$\xi + \eta + \epsilon \leq \delta - \lambda,$$

где λ — отклонение систематического характера.

А. Рассеивание размеров как фактор, обуславливающий выбор вида обработки

Рассеивание размеров деталей, вызываемое неизбежными колебаниями производственных условий, зависит от содержания операции (детали, вида обработки, оборудования, режима работы и т. п.).

При выборе операции нужно прежде всего исходить из того условия, что

$$\xi < \delta,$$

где δ — допуск, проставленный на операционном чертеже.

Чтобы убедиться в соблюдении этого неравенства, необходимо, очевидно, располагать нормативами, характеризующими рассеивание размеров при различных операциях. Укажем методику получения этих нормативов. Обработав партию деталей и замерив их, мы могли бы определить величину ξ как разность между наибольшим и наименьшим из действительных размеров.

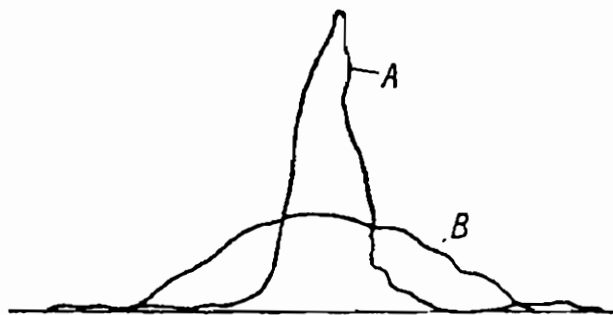
Нетрудно убедиться, что значения наибольшего и наименьшего из действительных размеров, полученные подобным путем, в большинстве случаев не могут рассматриваться как величины, характерные для данной операции. Эти значения, а следовательно, и определяемая по ним величина ξ в одной партии деталей могут под влиянием всякого рода случайностей и даже ошибок весьма существенно расходиться с соответствующими значениями в другой партии, обработанной при практически одинаковых условиях.

Величина ξ приобретает значительно более определенное значение, если она подсчитывается не просто как разность между край-

ними размерами, а на основе закона распределения. Например, исходя из крайних значений, мы должны были бы считать, что при операции, характеризуемой кривой *A*, рассеивание больше, чем при операции, характеризуемой кривой *B* (фиг. 24). Очевидно, однако, что это заключение не соответствует действительности.

Проведенными нами исследованиями было установлено, что для большинства из станочных операций кривые распределения, построенные на основе замера партии деталей, обработанных при одной настройке, с достаточным для практических целей приближением можно рассматривать как подчиняющиеся закону Гаусса. Часть полученных нами кривых, характеризующих операции обтачивания на автомате, сверления, зенкерования, развертывания и фрезерования, показана на фиг. 25.

На фиг. 25, *б*, *в*, *г* и *д* рядом с каждой из действительных кривых распределения, показанной сплошной линией, пунктиром изображена кривая Гаусса, среднее квадратическое отклонение которой соответствует среднему квадратическому отклонению, вычисленному для совокупности действительных погрешностей (размеров). Кроме чисто внешнего сравнения построенных кривых распределения с соответствующими кривыми Гаусса, мы сопоставляли практические данные с теоретическими по методу Вестергарда. Сущность этого способа заключается в следующем. При нормальном распределении в интервале от $L_{\text{ср}} - 0,3\sigma$ до $L_{\text{ср}} + 0,3\sigma$ содержится 25% от всех данных, в интервале от $L_{\text{ср}} - 0,7\sigma$ до $L_{\text{ср}} + 0,7\sigma$ содержится 50%, в интервале от $L_{\text{ср}} - 1,1\sigma$ до $L_{\text{ср}} + 1,1\sigma$ содержится 75% и в интервале от $L_{\text{ср}} - 3\sigma$ до $L_{\text{ср}} + 3\sigma$ содержится 99,8% (практически 100%).



Фиг. 24.

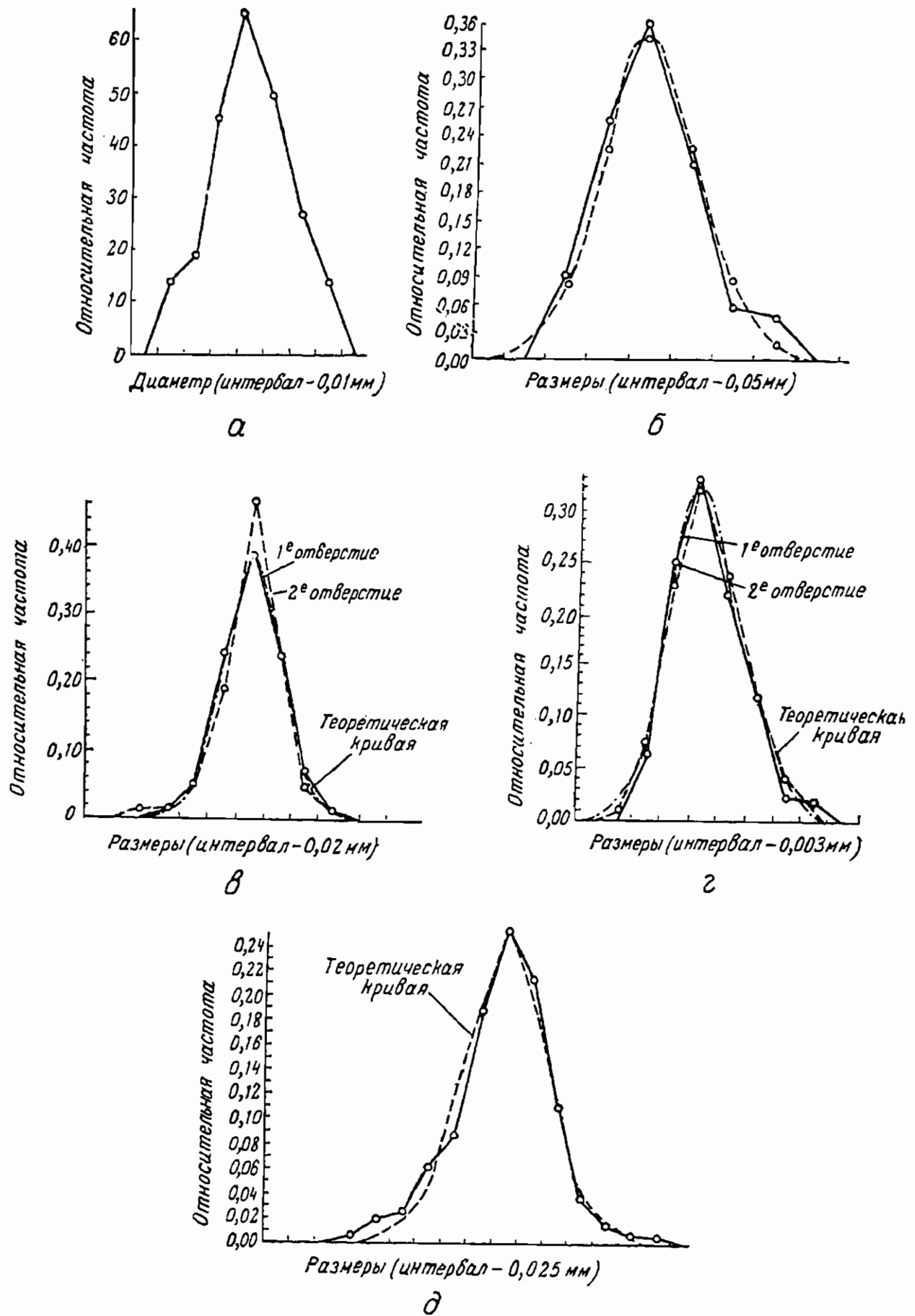
Сопоставляя действительные количества данных, содержащиеся в указанных интервалах, с теоретическими, можно судить, насколько близко рассматриваемое распределение приближается к нормальному. Автор провел ряд подобных сопоставлений для различных видов обработки.

Так, например, в табл. 2 приведено подобное сопоставление для операции фрезерования заготовок для плашек «Джеометрик» (см. также фиг. 25).

В данном случае действительные числа весьма близко совпадают с теоретическими.

То обстоятельство, что кривые, характеризующие распределение размеров деталей, обработанных при одной настройке, можно с достаточным приближением считать подчиняющимися закону Гаусса, имеет весьма важное практическое значение.

Чтобы иметь возможность использовать излагаемую в настоящей книге методику (а также разрешить ряд вопросов, связанных с выборочным контролем, селекционной сборкой и др.), необходимо



Фиг. 25. Кривые распределения, характеризующие станочные операции:
 а—обтачивание на автомате, б—сверление, в—зенкерование, г—раввертывание,
 д—фрезерование.

Таблица 2

Интервал		Теоретическое количество деталей	Действительное количество деталей
формула	числовые значения		
$L_{\text{ср}} \pm 0,3\sigma$	8,685—8,715	$562 \cdot 0,25 = 140$	131
$L_{\text{ср}} \pm 0,7\sigma$	8,665—8,735	$562 \cdot 0,5 = 281$	283
$L_{\text{ср}} \pm 1,1\sigma$	8,645—8,755	$562 \cdot 0,75 = 421$	403
$L_{\text{ср}} \pm 3\sigma$	8,65 —8,85	$562 \cdot 1 = 562$	552

располагать числовыми значениями параметров, характеризующих распределение. Если распределение подчиняется закону Гаусса, то оно полностью характеризуется средним квадратическим отклонением.

В соответствии с изложенным на стр. 30 мы с практически стопроцентной вероятностью можем считать, что $x_0 = 3\sigma$, следовательно, $\xi = 6\sigma$. В соответствии с этим при выборе операции, обеспечивающей соблюдение допуска δ , необходимо прежде всего исходить из неравенства

$$6\sigma < \delta.$$

Чтобы определить значение среднего квадратического отклонения для какой-либо операции, нужно замерить партию деталей, обработанных при этой операции (при одной настройке станка), и подставить соответствующие данные в формулу

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (L_i - L_{\text{ср}})^2}{n}}.$$

Для упрощения вычислений их можно расположить так, как указано в табл. 3.

Таблица 3

Определение среднего квадратического отклонения

(Операция фрезерования плашек на автозаводе им. Сталина)

L мм	m	$L_i - L_{\text{ср}}$, мм	$(L_i - L_{\text{ср}})^2$ $1 \cdot 10^{-2}$ мм	$m (L_i - L_{\text{ср}})^2$ $1 \cdot 10^{-2}$ мм
8,53	2	-0,17	289	578
8,54	1	-0,16	256	256
8,55	4	-0,15	225	900
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
8,87	1	+0,17	289	289
8,88	2	+0,18	324	648

$$\sum_m (L_i - L_{cp})^2 = 17\,732;$$

$$n = 566;$$

$$\sigma^2 = \frac{17\,732}{566} = 31;$$

$$\sigma = \sqrt{31} = 5,6;$$

$$\sigma = 0,056 \text{ мм.}$$

То, что среднее квадратическое отклонение при практически неизменном технологическом процессе является величиной стабильной, могущей характеризовать операцию, подтверждается исследованиями, проведенными автором над различными партиями деталей, обработанных в разное время, но при практически одинаковых условиях. Результаты этих исследований указаны в табл. 4.

Таблица 4

Наименование операций	Предприятие	Значения среднего квадратического отклонения		
		1-я партия	2-я партия	3-я партия
Обтачивание цапф осей центрального колеса (по $\varnothing 0,61 \text{ мм}$) на автомате «Торнос»	1-й часовой завод	0,0015	0,0017	0,0015
Сверление отверстий в кронштейне тормозного вала	Автозавод им. Сталина	0,0615 ($n = 56$) ¹	0,0610 ($n = 150$)	—
Зенкерование отверстий в кронштейне тормозного вала	То же	0,030 ($n = 207$)	0,031 ($n = 208$)	—
Развертывание отверстий в кронштейне тормозного вала	»	0,010 ($n = 200$)	0,010 ($n = 200$)	—
Фрезерование плашек «Джеометрик»	»	0,056 ($n = 566$)	0,053 ($n = 192$)	—

Число деталей, которые необходимо замерить, чтобы вычислить значение среднего квадратического отклонения, зависит от того, с какой точностью мы хотим его определить. Например, чтобы определить значение σ с точностью $\pm 0,1\sigma$, можно ограничиться измерением 50 деталей.

Таким образом определение значения среднего квадратического отклонения является несложной работой и может быть проведено в нормальных цеховых условиях.

Затратив весьма небольшое количество средств и труда, каждое предприятие серийного или массового типа может в течение короткого срока создать нормативы, характеризующие значение σ для

¹ n — количество деталей в партии.

всех типовых станочных операций в соответствии с существующими на этом предприятии оборудованием и специфическими особенностями.

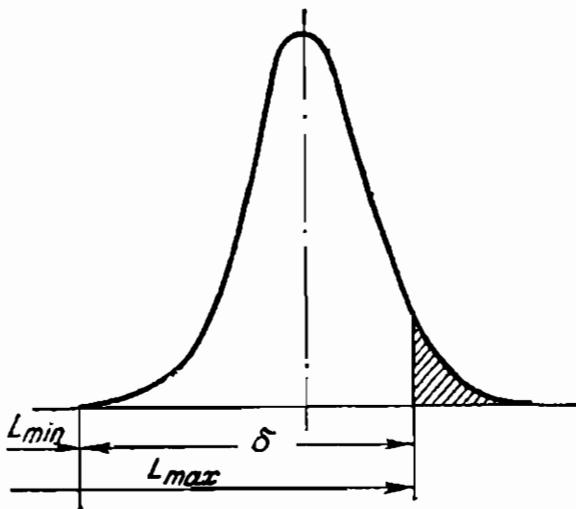
Разумеется, по мере накопления данных могут быть сделаны и соответствующие обобщения. Необходимо, однако, обратить самое серьезное внимание на то, чтобы числовые параметры не устанавливались путем простой фиксации результатов при существующих технологических процессах без их критической оценки.

На практике этот метод нередко применяют без надлежащего углубления в сущность рассматриваемого явления, сводя все дело к обработке статистических данных, накопленных без какого бы то ни было их анализа, что в отдельных случаях дает повод даже к дискредитации метода больших чисел.

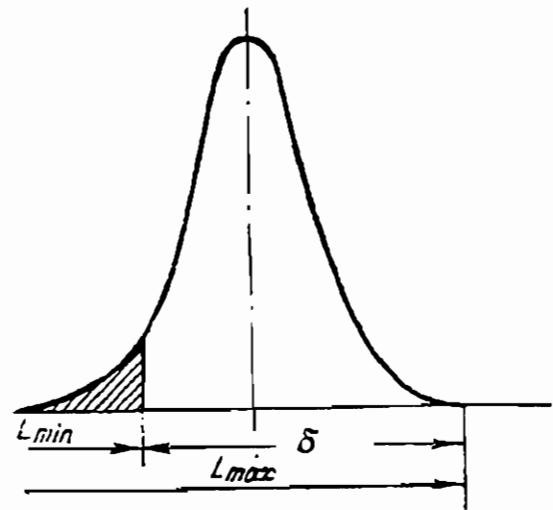
Изменяя отдельные факторы и наблюдая за соответствующими изменениями кривых распределения, мы в конечном счете можем выявить условия, которые при работе на существующем оборудовании обеспечивают наиболее благоприятные результаты в отношении точности обработки без ухудшения экономических показателей.

Б. Определение вероятного количества деталей, подлежащих дополнительной обработке

Если $\xi > \delta$, это значит, что выдержать при выполнении намеченной операции размеры всех деталей в пределах заданного допуска не представляется возможным. В подобных случаях необходимо



Фиг. 26.



Фиг. 27.

либо полностью перестроить технологический процесс, либо ввести дополнительную обработку тех деталей, размеры которых окажутся вне допуска. Последний метод широко применяется на заводах точного приборостроения. Чтобы решить вопрос о целесообразности его использования, необходимо в каждом конкретном случае предварительно определить относительное количество деталей, которые будут нуждаться в дополнительной обработке. В качестве общего правила следует считать, что дополнительная обработка сводится

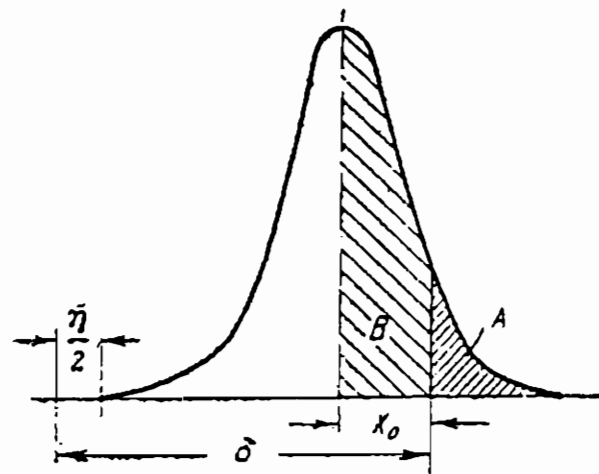
к снятию некоторого слоя металла. Нарращивание металла (путем хромирования, омеднения и т. п.) может оказаться приемлемым лишь в виде отдельных исключений.

Этими соображениями определяются требования, предъявляемые к расположению кривой распределения по отношению к полю допуска. При обработке наружных поверхностей должны совпадать наименьший действительный и наименьший предельный (по чертежу) размеры (фиг. 26), при обработке внутренних поверхностей — наибольший действительный и наибольший предельный (фиг. 27). Так как выдержать в точности требуемое расположение кривой распределения вследствие погрешностей при настройке (или по размеру инструмента) не представляется возможным, мы должны задаться

величиной η , ограничивающей колебания в положении кривой распределения.

При этих условиях относительное количество деталей, подлежащих дополнительной обработке, характеризуется заштрихованной площадью. Количество деталей, подлежащих дополнительной обработке, будет зависеть от положения кривой распределения.

Определим это количество для того случая, когда кривая распределения занимает среднее положение (фиг. 28). Площадь A ,



Фиг. 28.

характеризующая относительное количество деталей, подлежащих дополнительной обработке, равняется разности между половиной всей площади кривой распределения и площадью B .

В соответствии с этим относительное количество деталей (в процентах), подлежащих дополнительной обработке, будет:

$$Q = 100 [0,5 - 0,5 \Phi(z)] = 50 [1 - \Phi(z)],$$

где
$$z = \frac{x_0}{\sigma}, \quad \text{а} \quad x_0 = \delta - 3\sigma - \frac{\eta}{2}.$$

Например, если $\sigma = 0,02$ мм и $\eta = 0,04$ мм, то, чтобы выдержать допуск в $0,1$ мм, необходимо подвергнуть дополнительной обработке количество деталей, определяемое из следующих соотношений:

$$x_0 = 0,1 - 3 \cdot 0,02 - \frac{0,04}{2} = 0,02;$$

$$z = \frac{0,02}{0,02} = 1,0.$$

При $z = 1,0$

$$\Phi(z) = 0,6826 \approx 0,68;$$

$$Q = 50 (1 - 0,68) = 16\%.$$

В. Установка деталей

Методика определения значения ϵ ; исходные базы

Элементы заготовки, непосредственно связанные с обрабатываемой поверхностью размером, выдерживаемым при данной операции, условимся называть исходными базами.

В случае, показанном на фиг. 20, исходной базой является плоскость m , а на фиг. 23 — нижняя образующая, следом которой на плоскости является точка A .

Исходная база может быть связана с обрабатываемой поверхностью не размером, а требованиями, касающимися правильности формы детали. Так, например, при сверлении шайбы обрабатываемая поверхность (отверстие) связана условием концентричности и исходной базой — центром наружной цилиндрической поверхности. В равной степени могут иметь место требования в отношении симметричности, параллельности и т. п.

С понятием «исходные базы» не следует отождествлять те элементы формы изделия, по которым последнее устанавливается на станке («установочные базы»)¹. В ряде случаев изделие устанавливается и по иным, отличным от исходной базы элементам заготовки.

Как правило, следует стремиться устанавливать детали с таким расчетом, чтобы теоретически, т. е. если не учитывать практически неизбежных погрешностей (попадание стружки, неточность изготовления приспособлений, небрежность рабочего и т. п.), исходные базы у всех заготовок занимали одинаковое положение. При этих условиях $\epsilon = 0$.

Можно ли, однако, считать, что приспособление, не обеспечивающее неизменного положения исходной базы, не может быть допущено при работе без пробных проходов и промеров? Если бы это было так, то, чтобы осуществить принцип автоматического получения размеров, необходимо было бы в ряде случаев прибегать к весьма дорогим приспособлениям. Между тем на практике сплошь и рядом можно видеть приспособления, не обеспечивающие теоретически неизменного положения исходной базы, причем применение этих приспособлений не вызывает, однако, каких-либо нежелательных последствий. Чтобы иметь возможность работать без пробных проходов и промеров, нет вовсе необходимости применять приспособления, обеспечивающие неизменное положение всех заготовок при установке. Сплошь и рядом вполне можно использовать приспособления, при которых $\epsilon \neq 0$, но меньше величины, определяемой неравенством

$$\epsilon \leq \delta - \xi - \eta^* \quad (B)$$

¹ Подробно о классификации баз см. книгу: Н. П. Соколовский, Основы технологии машиностроения, ч. I, 1938.

* Величиной η приходится задаваться предварительно и окончательно уточнять ее после выявления принципиальной схемы установки детали.

Соблюдение этого неравенства является основным условием, которое необходимо выполнить при разработке способа установки.

Формула, определяющая значение ϵ , зависит, с одной стороны, от формы поверхности, по которой производится установка, с другой, — от устройства элементов приспособления, предназначенных для ориентировки деталей.

Поверхности, по которым устанавливаются изделия, обычно имеют плоскую, цилиндрическую или, реже, коническую форму. В отдельных случаях изделия можно устанавливать сразу по нескольким из указанных поверхностей, причем количество наиболее употребительных комбинаций невелико. В равной степени ограничено и количество принципиально различных устройств, предназначенных для установки изделия.

Ряд приспособлений для самых различных целей с точки зрения расчета значения ϵ является идентичным. Кроме того, не следует забывать, что величина ϵ от вида обработки не зависит. При этих условиях для большинства из наиболее часто встречающихся на практике случаев можно обойтись сравнительно небольшим количеством формул, вывод которых к тому же зачастую элементарно прост. Это обстоятельство позволило автору составить табл. 7, в которой даны значения ϵ для наиболее типичных способов установки.

На основании изложенного можно рекомендовать следующую методику разрешения вопроса о выборе правильного способа установки изделия:

1) составить неравенство (В), поставив в правую часть соответствующие числовые значения;

2) наметить принципиальную схему устройства предназначенного для установки изделия;

3) для каждого из размеров установить, какой из элементов формы заготовки является исходной базой;

4) выявить, какие из размеров заготовки обуславливают положение исходной базы;

5) определить значение ϵ ;

6) подставить числовое значение ϵ в неравенство (В).

Ниже приведены наиболее типичные случаи.

Установка по плоскости

Вначале рассмотрим наиболее простой случай, когда деталь установлена по одной плоской поверхности. Два подобных примера показаны схематически на фиг. 29 и 30.

В обоих случаях деталь обрабатывается на одном и том же станке при одинаковых условиях.

Допустим, $\sigma = 0,015$ мм, и следовательно, $\xi = 6 \cdot 0,015 = 0,09$ мм.

В первом случае выдерживаемый при рассматриваемой операции размер связывает обрабатываемую поверхность с нижней плоскостью n , являющейся, следовательно, исходной базой. Поскольку

плоскость n опирается на стол станка, а последний в процессе работы не опускается и не поднимается, теоретически исходная база у всех деталей будет находиться в неизменном положении, вследствие чего $\epsilon_{30} = 0$.

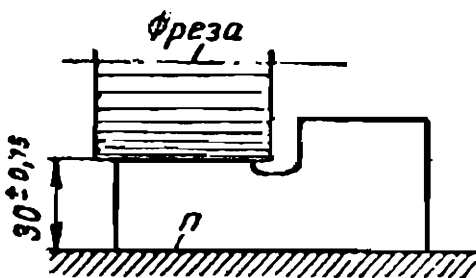
Задаемся $\eta = 0,04$ мм.

При этих условиях соответствующее неравенство (В) принимает вид:

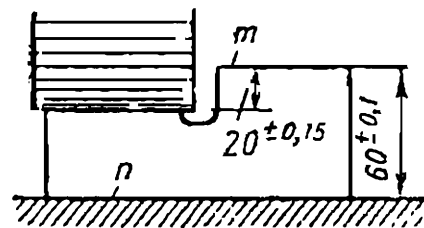
$$\epsilon_{30} \leq 0,3 - 0,09 - 0,04;$$

$$\epsilon_{30} \leq 0,17.$$

Так как неравенство соблюдено, метод установки приемлем. Иначе обстоит дело в случае, показанном на фиг. 30. Поскольку выдерживаемый при рассматриваемой операции размер $20 \pm 0,15$ связывает обрабатываемую поверхность не с нижней плоскостью n ,



Фиг. 29.



Фиг. 30.

а с верхней m , последняя и является исходной базой. Так как у всех деталей, устанавливаемых на станке, плоскость n будет находиться на одном и том же месте, положение плоскости m будет колебаться в пределах допуска на размер 60.

Очевидно, при рассматриваемом методе установки изделия выдерживаемый размер 20 всецело связан с размером 60: чем последний меньше, тем ниже будет расположена плоскость m , тем меньше будет и размер 20, и наоборот.

Если бы даже ξ равнялось нулю, у отдельных деталей размер 20 колебался бы после обработки в пределах допуска по размеру 60, т. е.

$$\epsilon_{20} = \delta_{60} = 0,2.$$

Составив соответствующее неравенство, мы получим:

$$\epsilon_{20} \leq 0,3 - 0,09 - 0,04;$$

$$\epsilon_{20} \leq 0,17.$$

Неравенство не соблюдено, вследствие чего в случае установки изделия по намеченному способу получится брак.

Воспользовавшись рассмотренным простым примером, постараемся подчеркнуть ряд моментов принципиального характера, имеющих общее значение.

Для соблюдения неравенства можно осуществить одно из следующих мероприятий.

1. Увеличение допуска по размеру 20 мм. Поскольку технолог не имеет права увеличивать проставленных на чертеже допусков, этот вариант обычно отпадает. Не следует, однако, упускать из виду, что в отдельных случаях, в особенности при свободных или малоответственных размерах, конструктор при простановке допусков руководствуется не конструктивными, а производственными соображениями. В нашем, например, случае может оказаться, что допуск $\pm 0,15$ мм по размеру 20 был проставлен вовсе не потому, что в случае его увеличения деталь не смогла бы выполнять своих функций. Не представляя себе детально всех обстоятельств, связанных с осуществлением рассмотренной операции, и не имея критерия, до какого же значения следует увеличить допуск по размеру 20, конструктор мог избрать допуск в 0,3 мм, исходя из того, что дальнейшее увеличение последнего не облегчит обработки.

Разумеется, как правило, технолог должен разрабатывать операции с таким расчетом, чтобы были выдержаны все допуски, проставленные на соответствующих чертежах. Однако в отдельных случаях он может поставить перед конструктором вопрос о возможности некоторого увеличения допуска на тот или иной размер до величины, определяемой неравенством.

В нашем случае потребовалось бы увеличение допуска по размеру 20 до величины δ'_{20} , определяемой неравенством:

$$0,2 \leq \delta'_{20} - 0,09 - 0,04,$$

откуда

$$\delta'_{20} \geq 0,2 + 0,09 + 0,04;$$

$$\delta'_{20} \geq 0,33.$$

Это обстоятельство лишний раз подчеркивает правильность переноса работы по конструированию объектов непосредственно на предприятия, где проще и легче всего могут быть согласованы вопросы конструктивного и технологического характера.

2. Уменьшение допуска по размеру 60. При намеченном способе установки, как это было выявлено выше, значение ϵ_{20} равно допуску по размеру 60. Если мы хотим уменьшить ϵ_{20} до 0,17, то до этой же величины необходимо сузить и допуск по размеру 60 мм, т. е. заменить конструктивный допуск $\pm 0,1$ более узким производственным $\pm 0,085$.

3. Другой путь уменьшения ϵ_{20} — это изменение самого метода установки.

Если исходную базу — плоскость m — будем прижимать к неподвижному упору (фиг. 31), то мы получим $\epsilon_{20} = 0$.

Таким образом мы имеем два технически допустимых варианта, не считая первого, могущего иметь место лишь при определенных условиях. Вопрос о том, какой из них является более целесообразным, следует разрешить на основе соответствующих экономических соображений и расчетов. В данном частном случае можно предполагать, что более целесообразным является второй вариант.

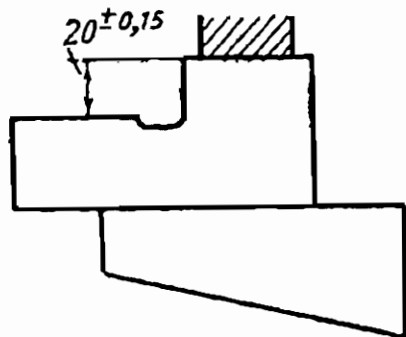
Это объясняется тем, что при сужении допуска существенное удорожание стоимости обработки имеет место лишь после перехода определенного предела. При втором варианте уменьшение допуска по размеру 60 мм с 0,2 до 0,17 мм никакого по существу повышения стоимости обработки не вызовет.

При третьем варианте придется применить специальное приспособление, а так как по сравнению со вторым вариантом значительной разницы в стоимости обработки не имеется, указанное приспособление себя не окупит.

Необходимо, однако, учитывать, что сделанные нами выводы относятся лишь к данным частным условиям.

Нельзя делать выводов о целесообразности того или иного из двух последних вариантов без учета вопросов производительности и соответствующих экономических расчетов, в основу которых должны быть положены: стоимость приспособления, с одной стороны, с другой — увеличение стоимости обработки.

В соответствии с изложенным, когда неравенство (В) не удовлетворяется, требуемая точность обработки выдержана быть не может. Нетрудно, однако, установить, что если осуществлять при этих условиях намеченную операцию, забракованными окажутся не все изделия, а лишь некоторый процент их. Это имеет чрезвычайно важное значение.



Фиг. 31.

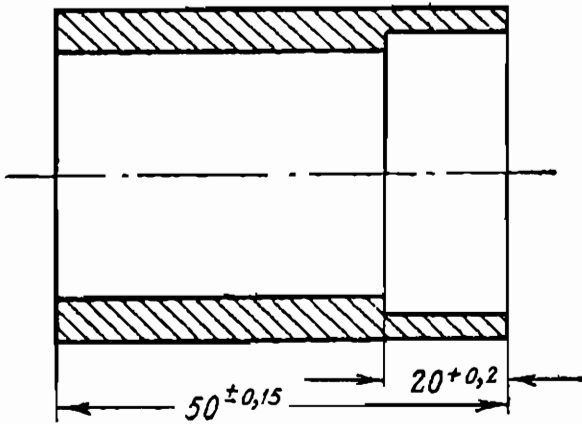
Обычно окончательное суждение о пригодности операции выносят на основе результатов обработки пробной партии. Если процент брака, происходящего вследствие неудовлетворения указанного неравенства, сравнительно невелик, то при ограниченном количестве изделий в пробной партии забракованных экземпляров может не оказаться. Это обстоятельство в практических условиях будет казаться неоспоримым доказательством безупречности технологического процесса. На самом же деле при продолжительной работе будет иметь место периодический брак.

Обычно, основываясь на результатах пробной партии, причины брака в подобных случаях относят за счет невнимательности рабочего. Последний, не будучи в состоянии опровергнуть это заключение, отказывается нередко от намеченного при разработке технологического процесса метода работы на настроенном станке и начинает работать по методу пробных проходов, что, естественно, резко понижает производительность.

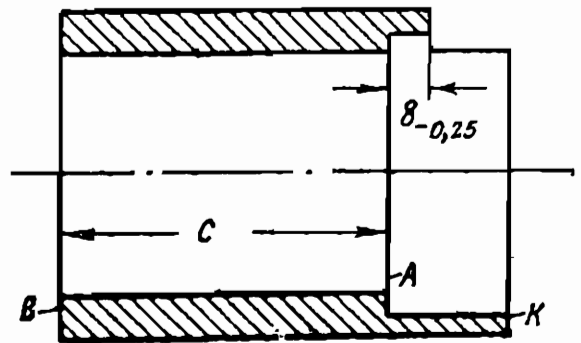
Единственный способ предупредить указанное явление, в особенности в случаях более сложных (см. ниже), чем приведенный выше весьма элементарный, — провести предварительные расчеты в соответствии с излагаемым методом.

Пример 1. Приведем случай, имевший место на одном из московских заводов. Первая операция: вытачивание на револьверном станке из прутка заготовки с размерами, показанными на фиг. 32. При второй операции фрезерова-

лась плоскость (Фиг. 33), причем деталь устанавливалась в приспособлении, схематически показанном на Фиг. 34. В дальнейшем от этого способа установки пришлось отказаться, так было невозможно выдержать размер 8 в пределах требуемого допуска 0,25.



Фиг. 32.



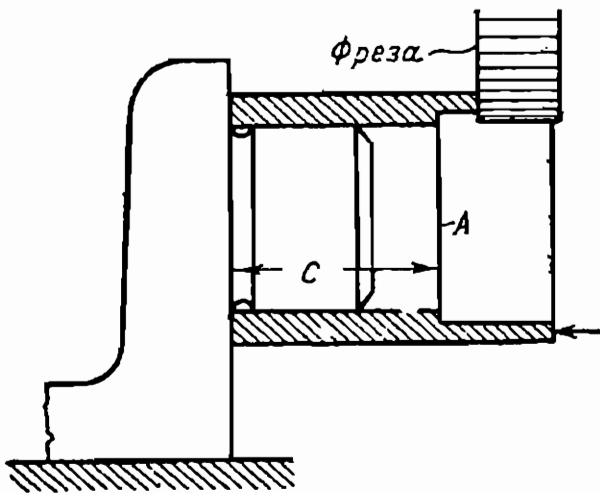
Фиг. 33.

Причину этого нетрудно установить на основе рассуждений, приведенных выше. В данном случае исходной базой является плоскость А. Задавшись $\sigma = 0,01$ и $r = 0,03$, составляем неравенство;

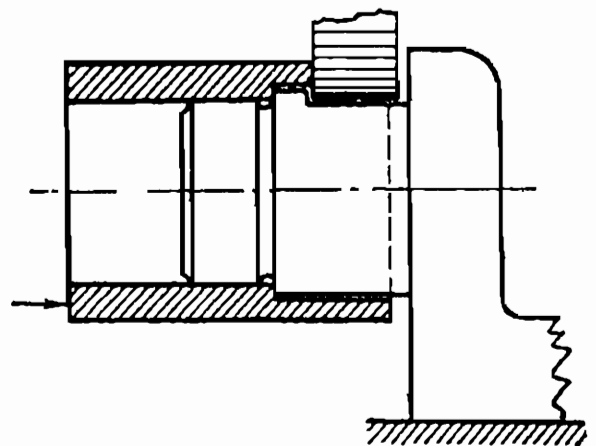
$$\epsilon_3 \leq 0,25 - 0,06 - 0,03;$$

$$\epsilon_3 \leq 0,16.$$

Положение исходной базы у различных заготовок колеблется в соответствии с колебаниями размера $C = 50 - 20$.



Фиг. 34.



Фиг. 35.

Если бы размер 50 был выполнен идеально точно, то положение исходной базы колебалось бы в пределах допуска по размеру 20, т. е. $\epsilon'_{20} = \delta_{20} = 0,2$. Наоборот, при идеально выполненном размере 20

$$\epsilon''_8 = \delta_{50} = 0,3.$$

Исходя из наиболее неблагоприятного случая, мы вынуждены принять

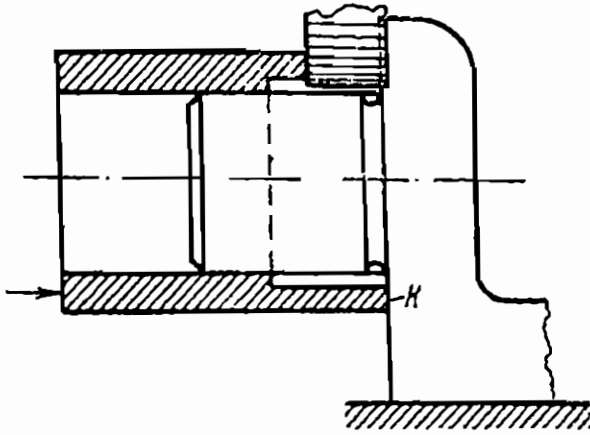
$$\epsilon_8 = \epsilon'_8 + \epsilon''_8 = 0,5.$$

Способ установки был изменен путем изготовления нового приспособления (Фиг. 35). Здесь $\epsilon_3 = 0$. Если бы мы захотели оставить первоначальное приспособление, то, как это видно из неравенства, необходимо было бы при вытачивании выдерживать расстояние между плоскостью А и торцом В в пределах

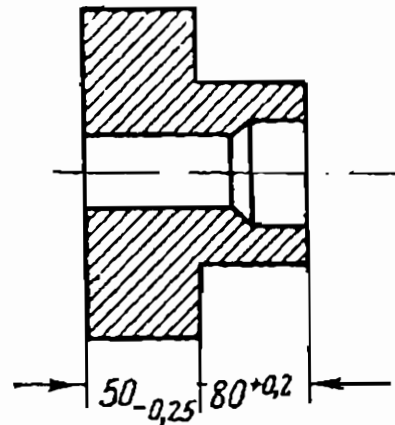
0,16, а для этого нужно было бы установить такие допуски по размерам 50 и 20, чтобы суммарная погрешность не превышала 0,16.

Рассмотрим также третий способ, когда изделие упирается в приспособление торцом *K* (фиг. 36).

При этих условиях $\epsilon_8 = \delta_{20} = 0,2$.



Фиг. 36.



Фиг. 37.

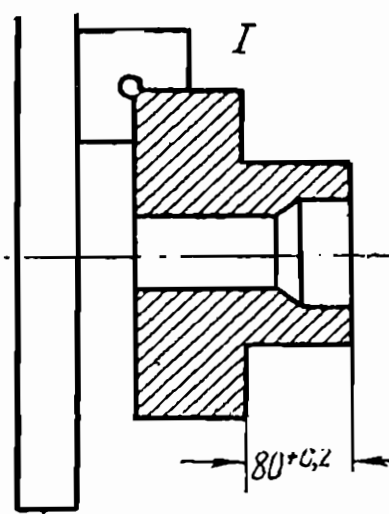
Неравенство не удовлетворено. Этот способ можно использовать, лишь уменьшив допуск по размеру 20 с 0,2 до 0,16.

Пример 2. Для обработки показанной на фиг. 37 детали намечен следующий технологический процесс.

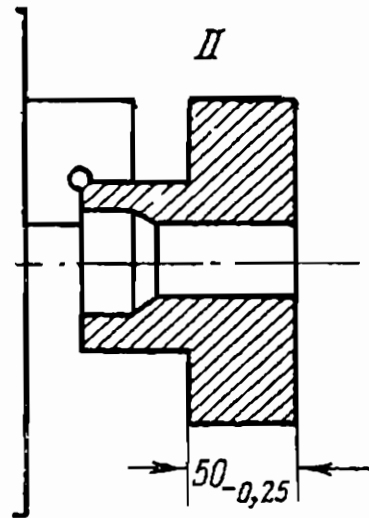
1-я операция — обтачивание по наружному диаметру, сверление, рассверливание, подрезка торца (фиг. 38).

2-я операция — обтачивание и подрезка торца (фиг. 39).

При обеих операциях изделие закрепляется в трехкулачковом патроне. Проверим, будут ли выдержаны при этом способе размеры 80 и 50 мм.



Фиг. 38.



Фиг. 39.

Примем $\sigma = 0,01$ и $\eta = 0,02$.

При первой операции смещение изделия отражается лишь на величине снимаемого слоя металла. При этих условиях $\epsilon_{80} = 0$.

Составляя неравенство $\epsilon_{80} \leq 0,2 - 0,06 - 0,02$, мы видим, что в отношении размера 80 неравенство удовлетворено.

Размер 50 выдерживается при второй операции. В данном случае $\epsilon_{50} = \delta_{80} = 0,2$.

Подставляя значения ξ и η в неравенство, получим:

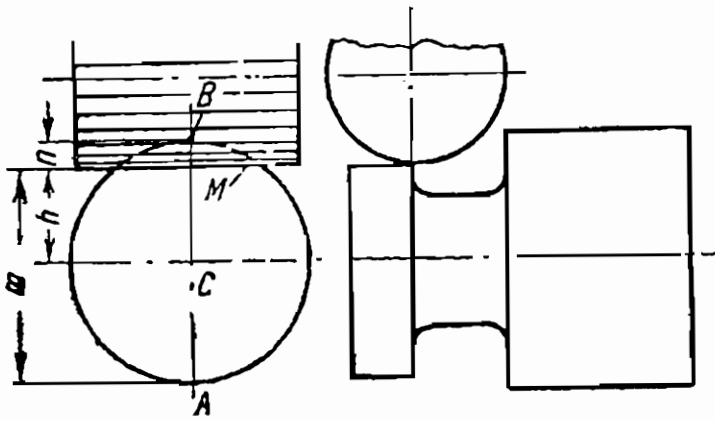
$$\epsilon_{50} \leq 0,25 - 0,06 - 0,02;$$

$$\epsilon_{50} \leq 0,17.$$

Таким образом в отношении размера 50 неравенство не удовлетворено. Во избежание брака необходимо либо уменьшить ϵ_{50} , а следовательно, и δ_{80} до 0,17 мм, либо при второй операции упирать не в торец, а во фланец.

Установка по наружной цилиндрической поверхности

В качестве исходного примера установки деталей по наружной цилиндрической поверхности рассмотрим случай, приведенный на фиг. 40, где у валика требуется профрезеровать плоскость M .



Фиг. 40.

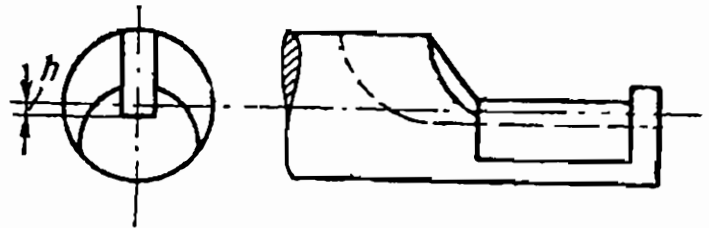
В соответствии с конструктивными соображениями может потребоваться соблюдение любого из размеров:

- 1) расстояния до центра h ;
- 2) расстояния до нижней образующей валика m ;
- 3) расстояния до верхней образующей n .

В зависимости от того, какой из указанных размеров ограничен на чертеже соответствующим допуском, как видно из нижеизложенного, имеют место принципиально различные случаи. В первом случае исходной базой служит центр C , во втором — точка A , в третьем — точка B .

Ниже рассмотрены основные способы установки деталей и на основе соответствующего анализа дана их сравнительная характеристика.

Требуется выдержать размер h . Одним из практических примеров, где требуется выдержать расстояние от фрезеруемой плоскости до центра, может служить игловодитель швейной машины (Подольский механический завод, фиг. 41).



Фиг. 41.

Одним из наиболее распространенных способов установки изделий по цилиндрической поверхности является установка на призму. Призмы применяются в виде самостоятельных приспособлений нормального типа и в качестве элементов различных специальных приспособлений. При установке на призму положение исходной базы (центра) зависит от диаметра заготовки. Разность между наивысшим и наинизшим при различных заготовках положениями центра представляет собою соответствующее значение ϵ_h . Наивысшее положение C' центр занимает при заготовках, имеющих наибольший предельный диаметр D_{\max} (фиг. 42), наиниз-

шее — при заготовках с наименьшим предельным диаметром D_{\min} .

$$\varepsilon_h = C'C'' = OC' - OC'' \quad (a)$$

Из треугольника $OC'K'$ находим:

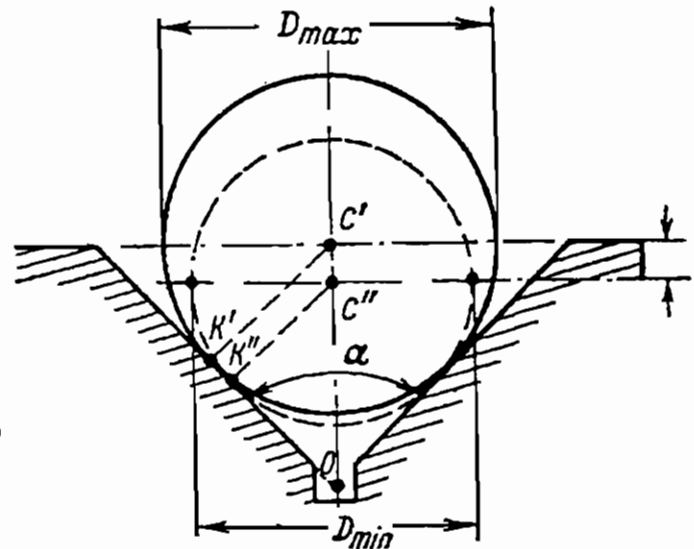
$$OC' = \frac{C'K'}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_{\max}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

и из треугольника $OC''K''$

$$OC'' = \frac{C''K''}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{D_{\min}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Подставляя в уравнение (а), получим:

$$\varepsilon_h = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}};$$



Фиг. 42.

обозначив разность $D_{\max} - D_{\min}$, равную допуску по диаметру, через δ_D , получим:

$$\varepsilon_h = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Рассмотрев полученное выражение, нетрудно прийти к выводу, что значение ε_h прямо пропорционально допуску по наружному диаметру и уменьшается с увеличением угла призмы.

Допустим, что у валика $\varnothing 70$ мм, обработанного по 4-му классу точности, требуется профрезеровать плоскость, выдержав размер до центра $25^{0,2}$. Примем $\sigma = 0,01$ и $\eta = 0,02$.

Можно ли при фрезеровании плоскости установить валик на призму с углом в 90° ?

Составив соответствующее неравенство, находим:

$$\varepsilon_{25} \leq 0,2 - 0,06 - 0,02;$$

$$\varepsilon_{25} \leq 0,12.$$

Фактическое значение ε_{25} определяется на основе полученной формулы (при 70 мм допуск по 4-му классу точности 0,2 мм):

$$\varepsilon_{25} = \frac{0,2}{2 \sin 45^\circ} = 0,143.$$

Очевидно, что неравенство не удовлетворено.

Чтобы избежать брака, необходимо уменьшить значение ε_{25} с 0,143 до 0,12 мм.

Формула показывает следующие два пути уменьшения ε .

а) Уменьшить допуск δ_D , т. е. обрабатывать наружный диаметр с более высокой степенью точности, чем показано на чертеже. В дан-

ном частном случае необходимо уменьшить допуск до δ'_D , определяемого из уравнения:

$$0,12 = \frac{\delta'_D}{2 \sin 45^\circ},$$

откуда

$$\delta'_D = 0,12 \cdot 2 \sin 45^\circ = 0,17.$$

б) Увеличить угол призмы, т. е. заменить намеченную призму другой, с бóльшим углом, определяемым из уравнения:

$$0,12 = \frac{0,2}{2 \sin \frac{\alpha'}{2}},$$

откуда

$$\sin \frac{\alpha'}{2} = \frac{0,2}{0,12 \cdot 2} = 0,83,$$

что соответствует $\frac{\alpha'}{2} \approx 56^\circ$.

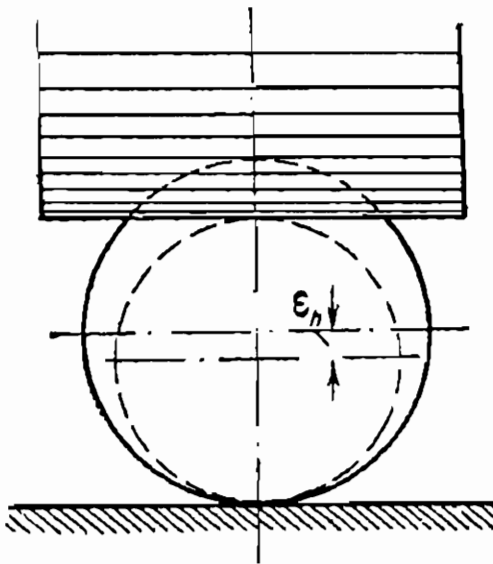
Таким образом в данном случае необходимо взять призму с углом не менее 112° .

При установке изделия на плоскость значение ϵ_h (фиг. 43) нетрудно получить, если в приведенной выше формуле принять

$$\alpha = 180^\circ.$$

При этих условиях

$$\epsilon_h = \frac{\delta_D}{2}.$$



Фиг. 43.

Таким образом уменьшение ϵ_h за счет увеличения угла призмы имеет предел, равный половине допуска по наружному диаметру.

При установке изделия на призму сбоку (фиг. 44) центр у различных заготовок в зависимости от их диаметра будет перемещаться лишь в горизонтальном на-

правлении. Это не отразится на точности обработки по размеру h и, следовательно, $\epsilon_h = 0$.

При установке в самоцентрирующемся приспособлении (в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне, самоцентрирующихся тисках и т. п.) центр всех заготовок, очевидно, независимо от их диаметра будет занимать неизменное положение.

Вследствие этого, как и в предыдущем случае,

$$\epsilon_h = 0.$$

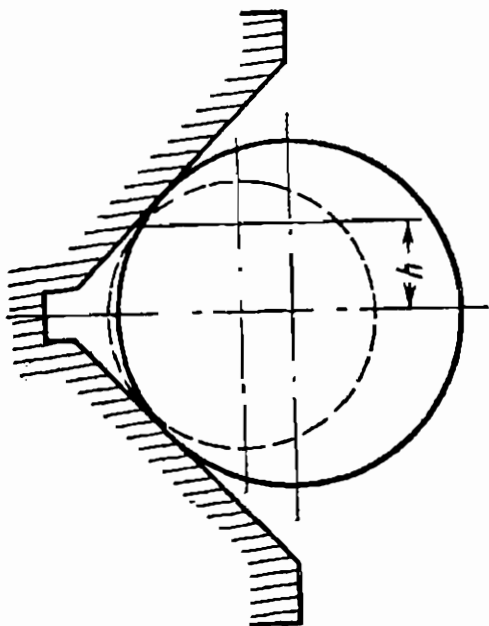
Т р е б у е т с я в ы д е р ж а т ь р а з м е р m . В данном случае исходной базой, от положения которой зависит размер m , как указано выше, является точка A .

П р и у с т а н о в к е н а п р и з м у (фиг. 45) точка A занимает наивысшее положение при D_{\max} и наинизшее при D_{\min} .

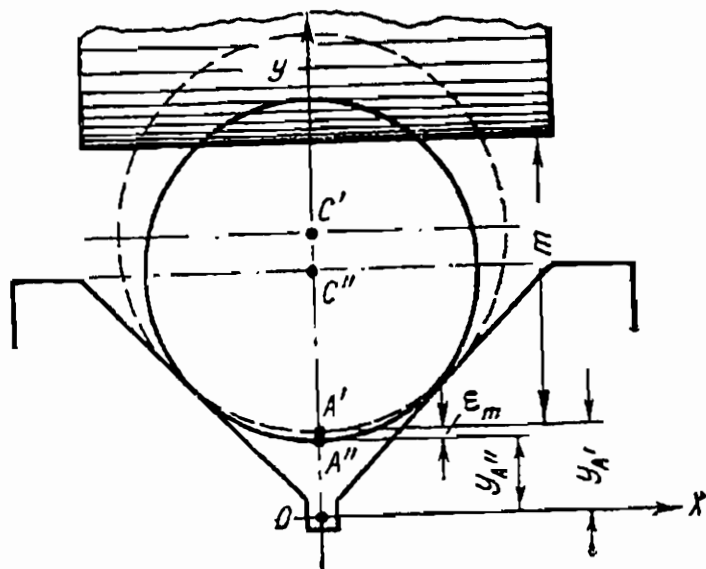
Очевидно:

$$\epsilon_m = A'A''.$$

Чтобы определить значение ϵ_m , применим способ, хотя и не являющийся самым простым, но зато носящий универсальный характер и пригодный (см. ниже) в целом ряде других случаев.



Фиг. 44.



Фиг. 45.

Примем точку O за начало координат. Обозначим ординаты точек A' и A'' через $y_{A'}$ и $y_{A''}$:

$$\epsilon_m = y_{A'} - y_{A''}.$$

Чтобы найти значения $y_{A'}$ и $y_{A''}$, составим уравнения соответствующих окружностей и найдем точки их пересечения с осью ординат.

В общем виде эти уравнения, как известно, имеют вид:

$$x^2 + (y - b)^2 = r^2.$$

Уравнение оси ординат

$$x = 0.$$

Решив их совместно, получим:

$$(y - b)^2 = r^2,$$

откуда

$$y = b \pm r.$$

Так как мы ищем ординату нижней точки пересечения, принимаем знак минус, т. е. $y = b - r$, где b — ордината центра.

В соответствии с изложенным

$$y_{A'} = OC' - \frac{D_{\max}}{2} = \frac{D_{\max}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{D_{\max}}{2} = \frac{D_{\max}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

$$y_{A''} = OC'' - \frac{D_{\min}}{2} = \frac{D_{\min}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{D_{\min}}{2} = \frac{D_{\min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

Подставляя полученные значения в уравнение

$$\epsilon_m = y_{A'} - y_{A''},$$

находим:

$$\begin{aligned} \epsilon_m &= \frac{D_{\max}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) - \frac{D_{\min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = \\ &= \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \end{aligned}$$

Окончательно

$$\epsilon_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

Как и в предыдущем случае (когда выдерживался размер h), значение ϵ_m увеличивается с увеличением допуска по диаметру и уменьшается с увеличением угла призмы.

Допустим, что, оставив неизменными все условия, принятые в примере на стр. 51, будем выдерживать в пределах того же допуска 0,2 мм не размер 25 до центра, а размер 60_{-0,2} (до нижней точки).

В данном случае

$$\epsilon_m = \frac{0,2}{2} \left(\frac{1}{\sin 45^\circ} - 1 \right) = 0,043;$$

составив неравенство

$$\epsilon_{60} \leq 0,2 - 0,06 - 0,02,$$

мы видим, что неравенство соблюдено. Таким образом при установке изделия на призму можно выдерживать размер m в пределах значительно более узких допусков, чем размер h .

Как и в ранее рассмотренном случае, плоскость мы можем рассматривать как призму с углом в 180°.

Подставив $\sin \frac{\alpha}{2} = 1$ в формулу для ϵ_m , получим:

$$\epsilon_m = 0.$$

При установке в самоцентрирующемся приспособлении центр будет у всех заготовок занимать неизменное положение независимо от колебаний по диаметру. Положение же

исходной базы — точки A — при этих условиях будет, естественно, колебаться в пределах допуска на радиус; следовательно,

$$\epsilon_m = \frac{\delta_D}{2}.$$

Нетрудно убедиться, что то же значение ϵ_m имеет и при установке на призму сбоку, когда центр у различных заготовок будет перемещаться лишь в горизонтальном направлении.

Требуется выдержать размер n . Случай установки на призму (фиг. 46) весьма схож со случаем, приведенным на фиг. 45. Разница, однако, заключается в том, что исходной базой, в соответствии с выдерживаемым размером, служит не нижняя точка A , а верхняя B .

Ход рассуждений оставляем тот же, но, учитывая, что в данном случае мы имеем дело не с нижней точкой пересечения окружности с осью ординат, а с верхней, принимаем в уравнении $y = b \pm r$ знак плюс.

Вследствие этого

$$y_{B'} = \frac{D_{\max}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{D_{\max}}{2} = \frac{D_{\max}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

$$y_{B''} = \frac{D_{\min}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{D_{\min}}{2} = \frac{D_{\min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

$$\epsilon_n = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

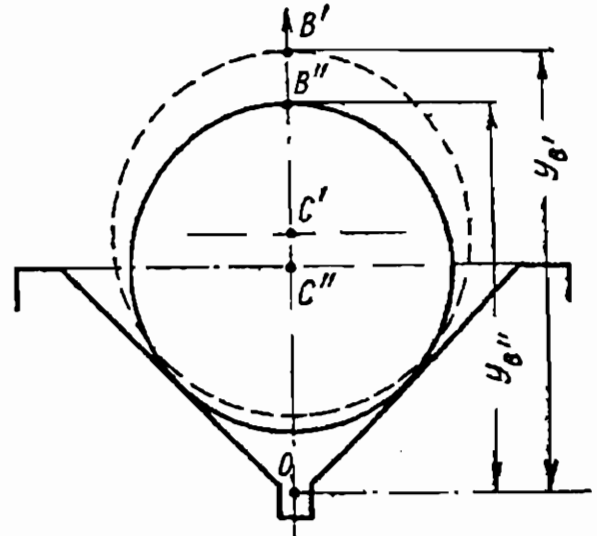
$$\epsilon_n = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

Допустим, что, оставив неизменными все прочие условия, принятые в предыдущих двух примерах, будем выдерживать в пределах допуска 0,2 размер 10 мм до точки B .

Подставляя соответствующие значения в формулу, получим:

$$\epsilon_{10} = \frac{0,2}{2} \left(\frac{1}{\sin 45^\circ} + 1 \right) = 0,243.$$

Составив неравенство $\epsilon_{10} \leq 0,2 - 0,06 - 0,02$, мы видим, что в противоположность тому, что имело место, когда выдерживался с тем же

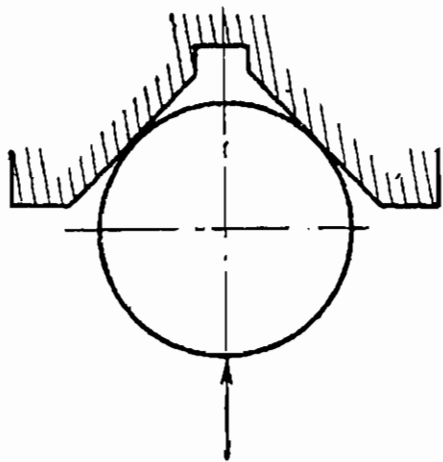


Фиг. 46.

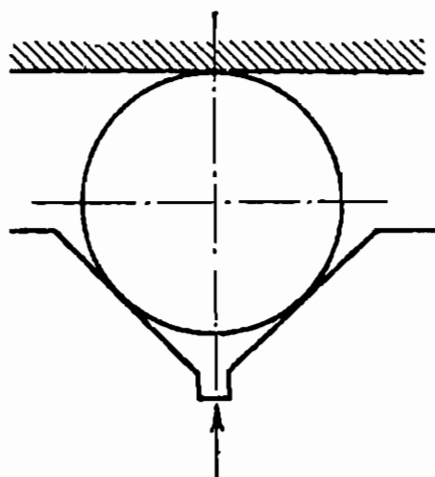
допуском размер 60 мм, неравенство в данном случае уже не удовлетворено. Таким образом далеко не безразлично, как это может показаться с первого взгляда, какой именно из двух размеров ограничен на чертеже соответствующим допуском.

При установке на плоскость снизу, подставляя в формулу $\sin \frac{\alpha}{2} = 1$, мы получим:

$$\epsilon_n = \delta_D.$$



Фиг. 47.



Фиг. 48.

Установка в самоцентрирующемся приспособлении или на призму сбоку совершенно аналогична случаю, когда требуется выдержать размер m , и следовательно,

$$\epsilon_n = \frac{\delta_D}{2}.$$

Таким образом ни в одном из рассмотренных примеров мы не получили значения ϵ_n меньшего, чем половина допуска по диаметру. Рассмотрим дополнительные способы установки.

Случай установки с поджимом к призме сверху (фиг. 47) по существу аналогичен способу, показанному на фиг. 45.

Следовательно,

$$\epsilon_n = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

При установке с поджимом к плоскости сверху (фиг. 48) $\epsilon_n = 0$.

Зависимость способа установки от требуемой точности обработки

Приведенные выше формулы, определяющие значение ϵ при установке на призму, могут быть весьма просто изображены графически.

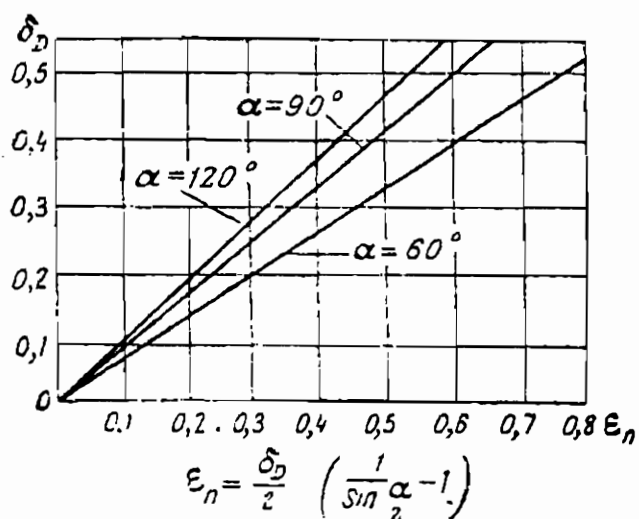
При $\alpha = \text{const}$ каждое из уравнений:

$$\epsilon_n = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}},$$

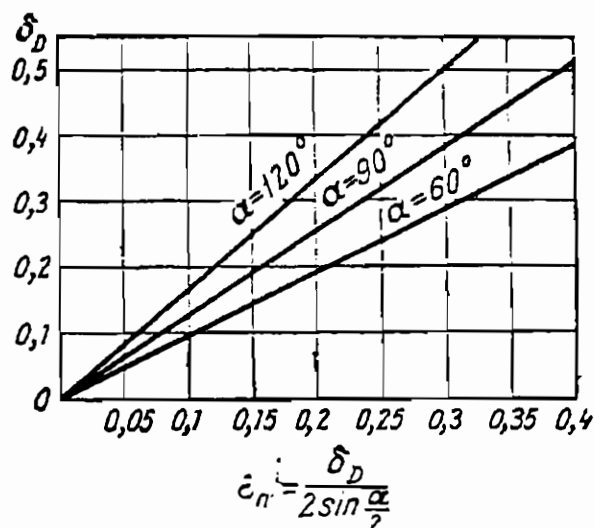
$$\epsilon_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right),$$

$$\epsilon_n = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$$

представляет собою прямую линию, проходящую через начало координат.



Фиг. 49.



Фиг. 50.

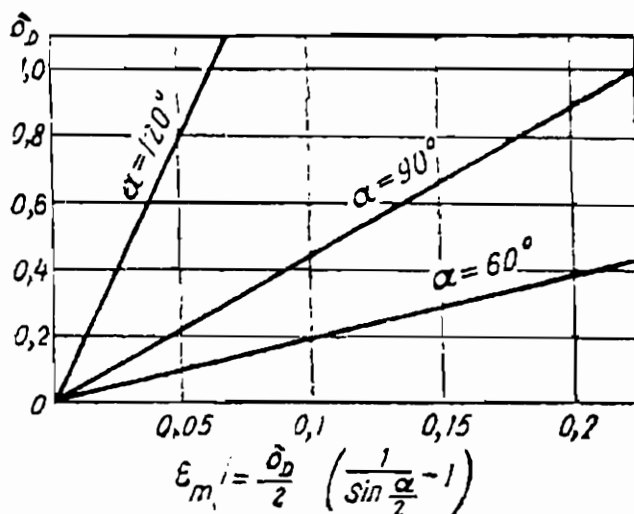
Графики, соответствующие каждому из уравнений, приведены на фиг. 49—51.

Из сравнения полученных на стр. 50—57 результатов нетрудно сделать следующие выводы:

1. Способ установки изделий на призму обеспечивает наименьшее значение ϵ , а следовательно, и наивысшую при прочих равных условиях степень точности при обработке размера m , более низкую по размеру h и еще более низкую по размеру n .

2. Установка на плоскость при любом из трех указанных размеров обуславливает теоретически более высокую степень точности, чем установка на призму.

3. Наиболее точные результаты обработки могут быть получены: в отношении размера h — при установке на призму сбоку или в самоцентрирующемся приспособлении; в отношении размера m — при установке на плоскость снизу; в отношении размера n — при установке с поджимом к плоскости, находящейся сверху.

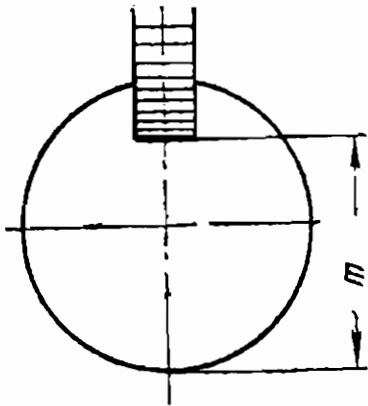


Фиг. 51.

4. С уменьшением допуска по наружному диаметру пропорционально уменьшается и значение ϵ .

Необходимо, однако, твердо усвоить следующее. Было бы совершенно неправильным стремиться во всех случаях применять способы установки, обеспечивающие наименьшее значение ϵ . Уменьшения ϵ в ряде случаев можно достичь за счет значительного усложнения, а следовательно, и удорожания приспособления. Уменьшение ϵ ниже значения, определяемого из приведенных расчетов, является с теоретической точки зрения бесцельным.

Рассмотрим пример, показывающий, как изменяется схема установки в зависимости от требуемой точности обработки. У детали, изображенной на фиг. 52, требуется профрезеровать паз, выдержав размер m с допуском δ_m . Кроме того, ось паза должна проходить через центр, причем допустимый эксцентриситет не должен превышать определенного значения. Так как для нас безразлично, в какую сторону отклоняется ось паза от центра, допуск по эксцентриситету



$$\delta_e = 2e_{\max},$$

Фиг. 52.

где e_{\max} — максимально допустимый эксцентриситет.

Выясним, как изменяется способ установки при фрезеровании валика $\varnothing 60_{-0,2}$ в зависимости от допуска по размеру $m = 50$ и значения допустимого эксцентриситета. Рассмотрим 4 варианта, указанные в табл. 5.

Таблица 5

№ варианта	Допуск по размеру 50	Допустимый эксцентриситет
1	0,2	0,1
2	0,12	0,1
3	0,10	0,1
4	0,10	0,05

Значение σ при всех вариантах примем равным 0,01 мм и $\eta = 0,03$ мм.

1-й вариант. При установке на призму исходная в отношении эксцентриситета база — центр C — может перемещаться у различных загустовок лишь по вертикали. Вследствие этого

$$\epsilon_e = 0.$$

В соответствии с изложенным выше

$$\epsilon_{50} = \frac{\delta_{60}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right);$$

при $\alpha = 90^\circ$

$$\epsilon_{50} = \frac{0,2}{2} \left(\frac{1}{\sin 45^\circ} - 1 \right) = 0,043;$$

$$\epsilon_{50} \leq 0,2 - 0,06 - 0,03;$$

$$\epsilon_{50} \leq 0,11.$$

Неравенство в отношении размера 50 удовлетворено.

Допуск по эксцентриситету

$$\delta_e = 2 \cdot 0,1 = 0,2.$$

Составляя неравенство

$$\epsilon_e \leq 0,2 - 0,06 - 0,03,$$

мы видим, что оно удовлетворено.

Таким образом при первом варианте призма с углом 90° является вполне приемлемым средством для установки.

2-й вариант. В случае установки на призму с углом 90° , как подсчитано выше,

$$\epsilon_{50} = 0,043.$$

Составляем соответствующее неравенство:

$$\epsilon_{50} \leq 0,12 - 0,06 - 0,03,$$

$$\epsilon_{50} \leq 0,03.$$

Так как неравенство не удовлетворено, попытаемся уменьшить ϵ_{50} за счет увеличения угла призмы:

$$0,03 = \frac{0,2}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha'}{2}} - 1 \right),$$

откуда

$\sin \frac{\alpha'}{2} = 0,78$ и, следовательно, $\alpha' = 102^\circ$.

3-й вариант. Чтобы удовлетворить неравенству

$$\epsilon_{50} \leq 0,1 - 0,06 - 0,03,$$

необходимо сделать призму с весьма большим углом, т. е. практически плоскость.

Чтобы обеспечить положение оси паза относительно центра, сделаем боковой упор, т. е. применим способ, показанный на фиг. 53.

В этом случае $\epsilon_{50} = 0$.

Проверим значение эксцентриситета:

$$\epsilon_e \leq 0,2 - 0,06 - 0,03,$$

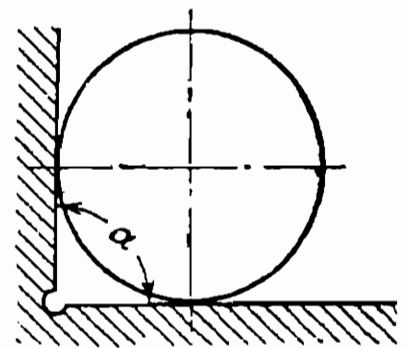
$$\epsilon_e \leq 0,11.$$

Нетрудно установить, что

$$\epsilon_e = \frac{\delta_{50}}{2} = 0,1.$$

Очевидно, что неравенство удовлетворено.

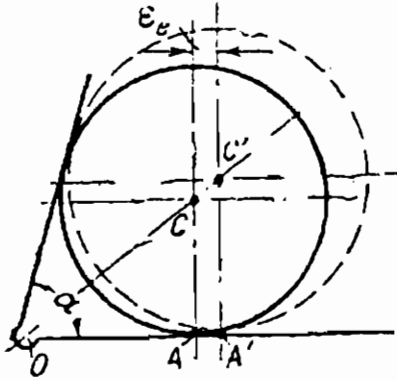
Следует отметить, что иногда делают угол α не 90° , а меньше. При этих условиях ϵ_e приобретает значение большее, чем половина



Фиг. 53.

допуска по диаметру. Геометрическим местом центров заготовок различных диаметров служит биссектриса угла.

Как видно из фиг. 54,



Фиг. 54.

$$\epsilon_e = \frac{\delta_D}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

4-й вариант. В данном случае, если исходить из размера 50, нужно установить изделие на плоскость. Применяв устройство, показанное на фиг. 53, и составив соответствующее неравенство

$$\epsilon_e \leq 0,1 - 0,06 - 0,03,$$

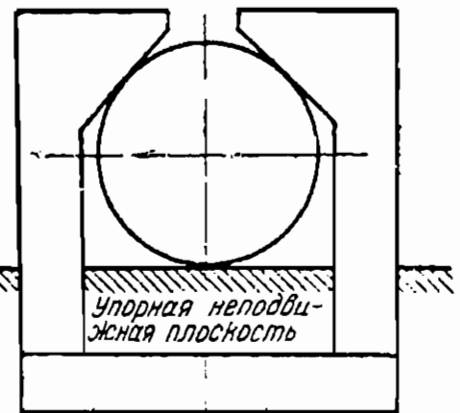
мы видим, что этот способ не обеспечивает надлежащего положения оси паза по отношению к центру.

Необходимо применить устройство, при котором

$$\epsilon_e \leq 0,01 \text{ и } \epsilon_{50} \leq 0,01.$$

Если сделать приспособление по принципу, показанному на фиг. 55, то оба требования будут выполнены, так как при этих условиях

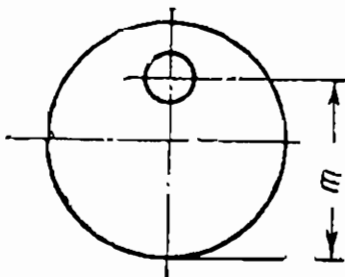
$$\epsilon_e = 0 \text{ и } \epsilon_{50} = 0.$$



Фиг. 55.

Необходимо, однако, отметить, что осуществление приведенной конструкции практически весьма сложно. Применение ее в тех случаях, когда можно обойтись более простыми способами установки (подобно указанным выше), является явно нецелесообразным.

Пример 1. Допустим, что нужно просверлить отверстие у шайбы, обработанной по наружному диаметру, и выдержать размер m с соответствующим допуском (фиг. 56). Сравним при помощи выведенных зависимостей две конструкции кондукторов, схематически показанные на фиг. 57 и 58. Поскольку значения σ и γ в обоих случаях одни и те же, точность соблюдения размера m обуславливается разницей в соответствующих значениях ϵ_m . Отношение этих неточностей служит сравнительной характеристикой обеих конструкций.



Фиг. 56.

Нетрудно установить, что случай, показанный на фиг. 58, соответствует уже рассмотренному нами случаю (см. фиг. 46), т. е.

$$\epsilon'_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

Случай же, показанный на фиг. 57, аналогичен случаю на фиг. 45, т. е.

$$\epsilon''_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

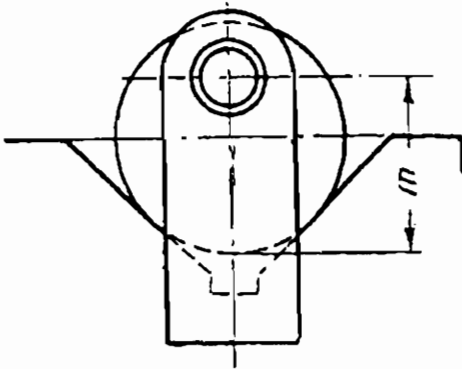
Отношение

$$\frac{\epsilon_m''}{\epsilon_m'} = \frac{\frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)}{\frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)} = \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}$$

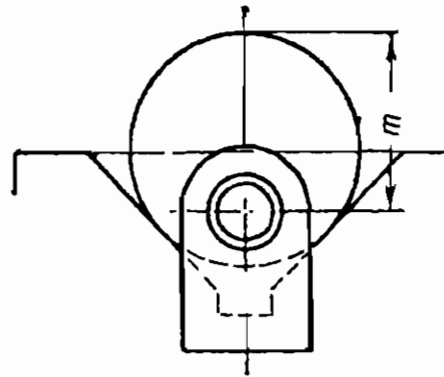
При $\alpha = 90^\circ$

$$\frac{\epsilon_m''}{\epsilon_m'} = \frac{1 + 0,7}{1 - 0,7} \approx 5,7.$$

Таким образом несущественная с первого взгляда разница в конструкциях приспособлений имеет следствием увеличение значения ϵ_m при второй кон-



Фиг. 57.



Фиг. 58.

струкции по сравнению с первой почти в 6 раз. Учесть это обстоятельство на основе только практических соображений без соответствующих расчетов было бы весьма трудно.

Пример 2. Для расточки отверстия у детали, показанной на фиг. 59, предполагается применить две принципиально разные конструкции приспособлений:

1) с неподвижным гладким кулачком и подвижным призматическим (фиг. 60);

2) с неподвижным призматическим и подвижным гладким кулачком (фиг. 61).

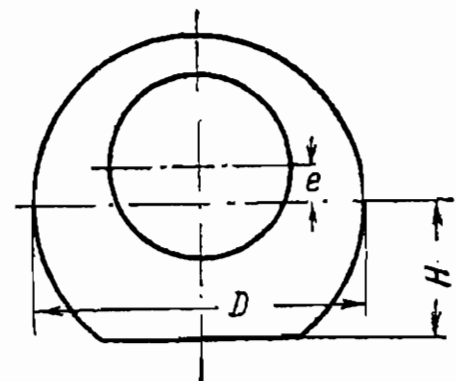
Какая из конструкций и при каких условиях обеспечивает большую точность расстояния между центрами?

Очевидно, при установке на неподвижный гладкий кулачок

$$\epsilon_e = \delta_H.$$

При установке на неподвижный призматический кулачок

$$\epsilon_e = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$



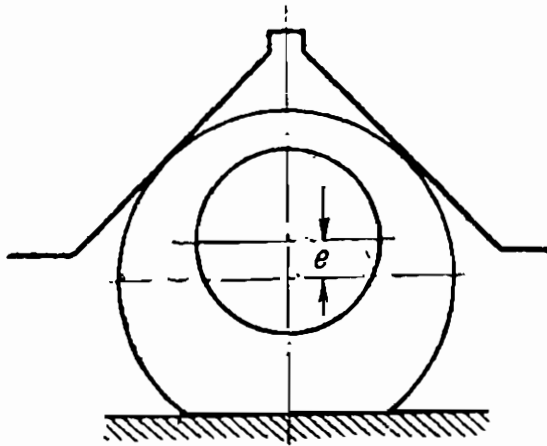
Фиг. 59.

Первая конструкция обеспечивает более высокую степень точности при $\delta_H < \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$, а при $\alpha = 90^\circ$

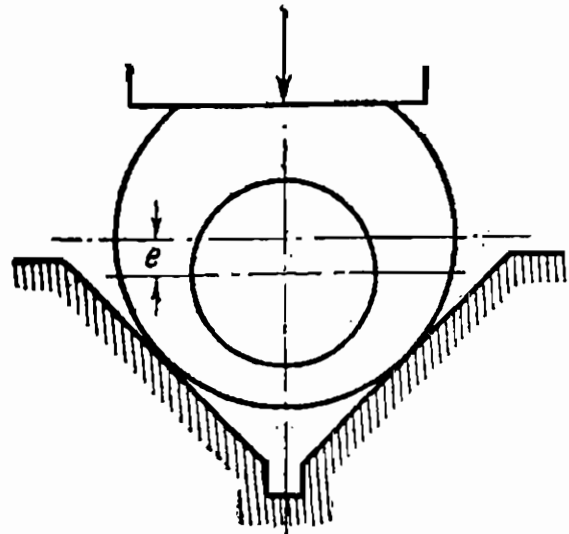
$$\delta_H < 0,7 \delta_D.$$

Пример 3. Сравним в отношении эксцентриситета две конструкции переделанных из тисков кондукторов, схематически показанные на фиг. 62 и 63.

Во втором случае неподвижная губка имеет V-образную форму, а подвижная — плоская, в первом случае — наоборот.

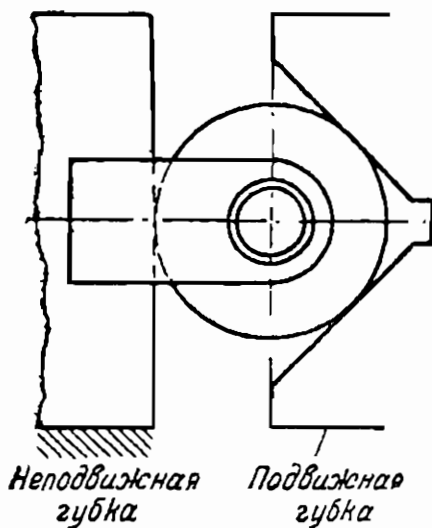


Фиг. 60.

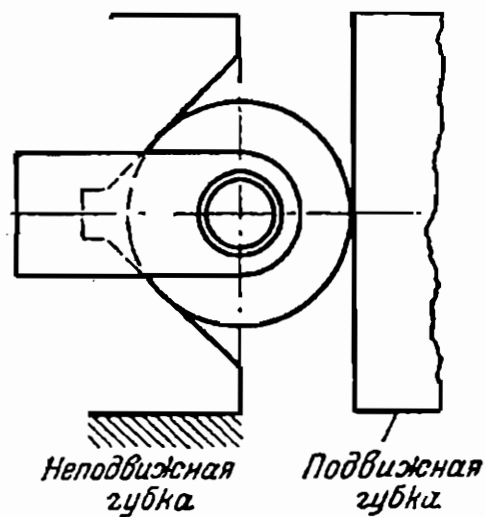


Фиг. 61.

Задачу определения ϵ_e в данном случае можно приравнять к уже рассмотренной задаче определения ϵ_h . Так как ни в одну из выведенных выше формул для ϵ_h абсолютное значение h не входит, эти зависимости следует признать справедливыми и в данном случае.



Фиг. 62.



Фиг. 63.

В связи с этим нетрудно установить, что при первой конструкции (фиг. 62)

$$\epsilon' = \frac{\delta_D}{2},$$

при второй (фиг. 63)

$$\epsilon'' = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Следовательно,

$$\frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{\delta_D \cdot 2}{2 \sin \frac{\alpha}{2} \delta_D} = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}},$$

а при $\alpha = 90^\circ$

$$\frac{\epsilon''}{\epsilon'} = 1,42,$$

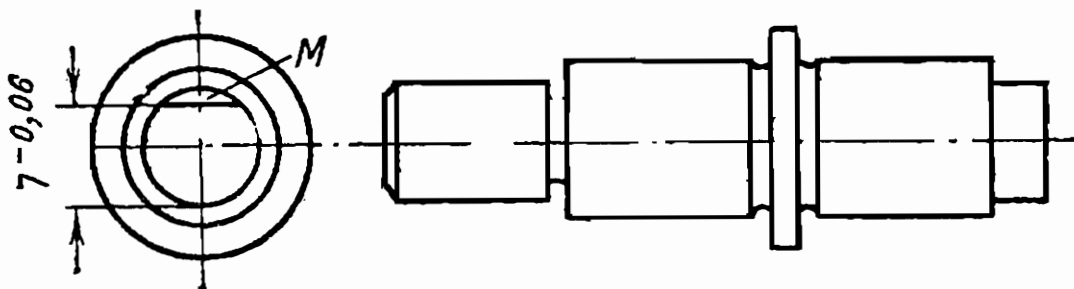
т. е. при второй конструкции неточность, происходящая вследствие смещения изделия, на 42% больше, чем при конструкции по фиг. 62.

Положение исходной базы зависит от нескольких размеров заготовки

В каждом из ранее рассмотренных примеров положение исходной базы зависело только от какого-либо одного размера заготовки. Могут встретиться, однако, и такие случаи, когда положение исходной базы будет зависеть от нескольких размеров. При этих условиях значение ϵ может быть представлено в виде $f(\delta_A, \delta_B \dots)$, где $\delta_A, \delta_B \dots$ — допуски по размерам, от которых зависит положение исходной базы.

Рассмотрим ряд примеров.

Пример 1. При фрезеровании плоскости M у представленной на фиг. 64 детали счетной машины заготовки устанавливаются на призму, как показано на фиг. 65. Положение исходной базы — точки A — зависит: 1) от допуска по диаметру D и 2) от допуска по диаметру d .



Фиг. 64.

Определим значение ϵ_a в общем виде. Точка A занимает наивысшее положение, очевидно, при заготовках, имеющих диаметры D_{\max} и d_{\min} . В противоположность этому наинизшее положение точки имеет место при заготовках с диаметрами D_{\min} и d_{\max} .

Очевидно, если бы $\delta_d = 0$, положение точки A колебалось бы в соответствии с положением центра C , т. е. в пределах

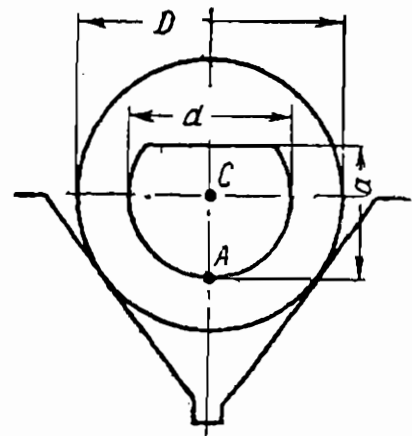
$$\epsilon'_a = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Если же предположить, что $\delta_D = 0$, то соответствующее значение ϵ''_a , обуславливаемое колебаниями диаметра d , равнялось бы

$$\epsilon''_a = \frac{\delta_d}{2}$$

В соответствии с изложенным

$$\epsilon_a = \epsilon'_a + \epsilon''_a = 0,5 \left(\frac{\delta_D}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \delta_d \right)$$

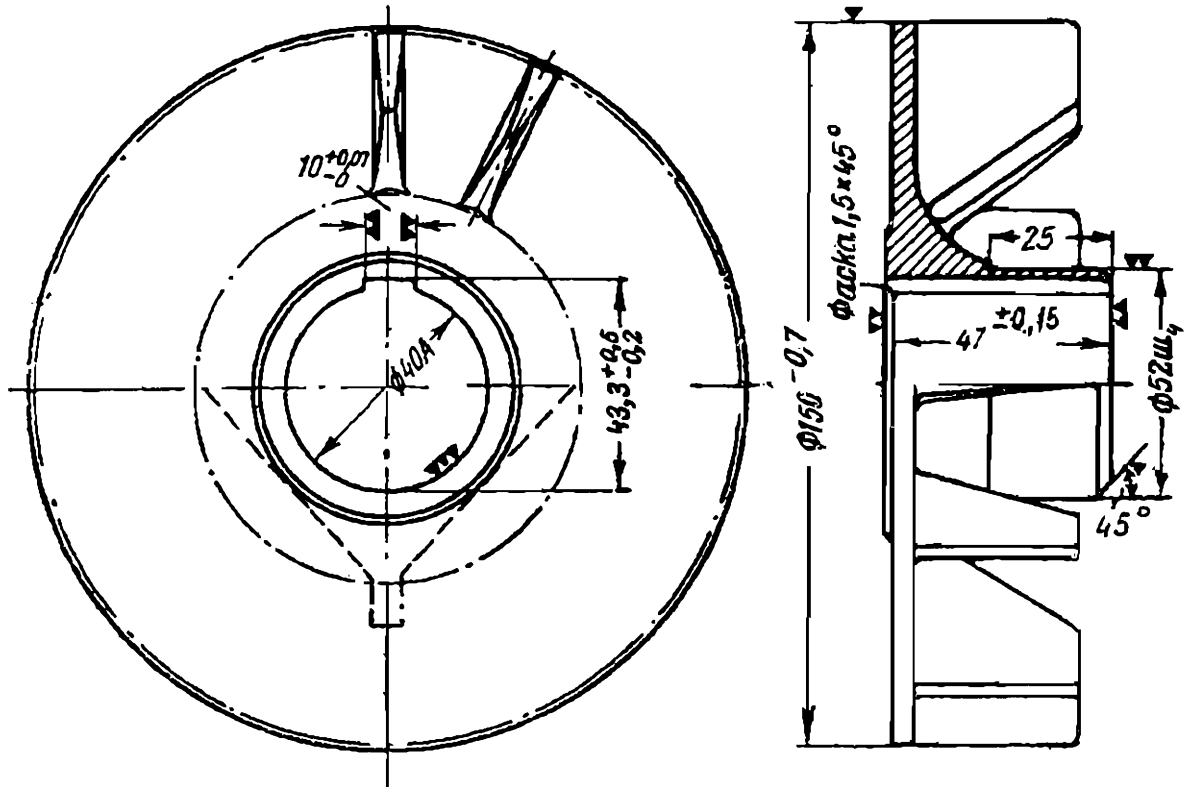


Фиг. 65.

По аналогичной же формуле следует рассчитывать и ϵ по размеру 43,3 при обработке шпоночного паза у показанной на фиг. 66 детали вентилятора. Если бы при фрезеровании плоскости у детали счетной машины необходимо было обеспечить $\epsilon_a = 0$, детали нужно было бы устанавливать так, как показано на фиг. 67.

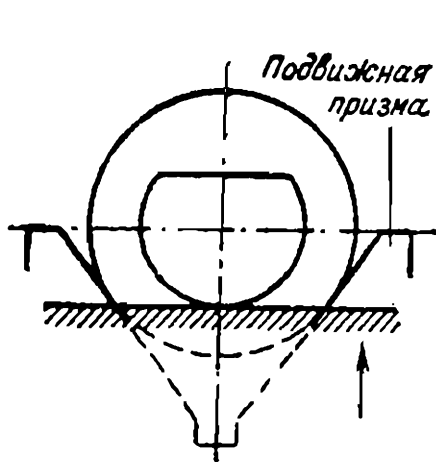
Пример 2. У валика, уже имеющего паз I , требуется профрезеровать паз II , выдержав размер k (фиг. 68).

Какое рассеивание ϵ_k будет иметь место в случае установки детали на призму?

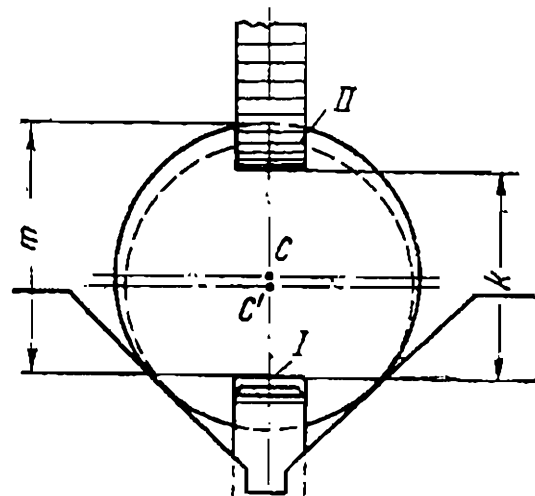


Фиг. 66.

Очевидно, ϵ_k является функцией от двух размеров: наружного диаметра D и выдерживаемого при предыдущей операции размера m .



Фиг. 67.



Фиг. 68.

При $\delta_m = 0$ на основании изложенного на стр. 55

$$\epsilon'_k = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$$

При $\delta_D = 0$

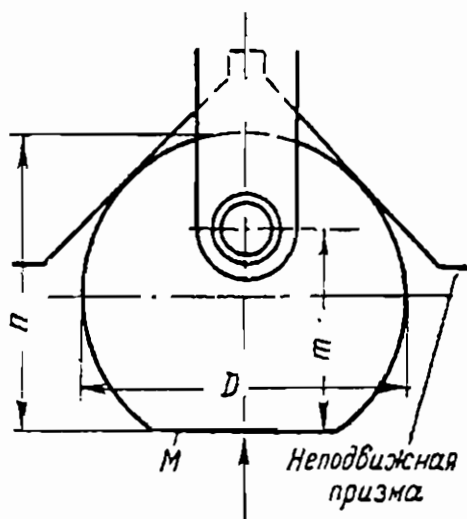
$$\epsilon''_k = \delta_m.$$

Следовательно,

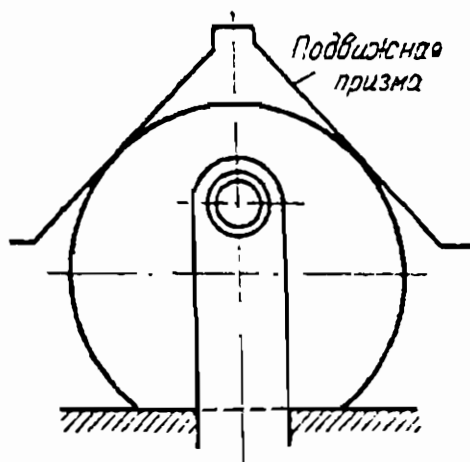
$$\epsilon_k = \epsilon'_k + \epsilon''_k = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) + \delta_m.$$

Пример 3. Определить значение ϵ по размеру m при сверлении детали в кондукторе, схематически показанном на фиг. 69.

Исходной базой для размера m служит, очевидно, плоскость M .



Фиг. 69.



Фиг. 70.

Положение исходной базы зависит от размера n и диаметра D .
При $\delta_n = 0$

$$\epsilon'_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

При $\delta_D = 0$

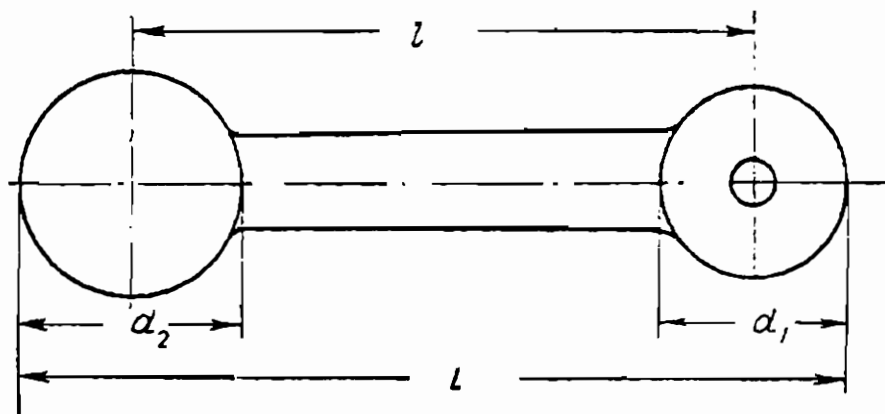
$$\epsilon'_m = \delta_n.$$

Следовательно,

$$\epsilon_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) + \delta_n.$$

При установке по схеме, показанной на фиг. 70,
 $\epsilon_m = 0$.

Пример 4. У детали, показанной на фиг. 71, требуется просверлить отверстие, выдержав размер l до центра левой бобышки.



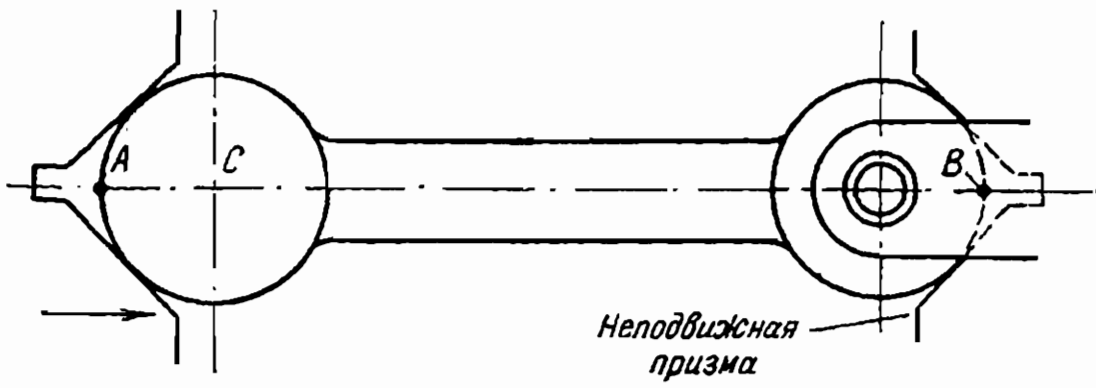
Фиг. 71.

Определить ϵ_l при схеме кондуктора, показанной на фиг. 72, если заданы допуски на длину L и на диаметры d_1 и d_2 .

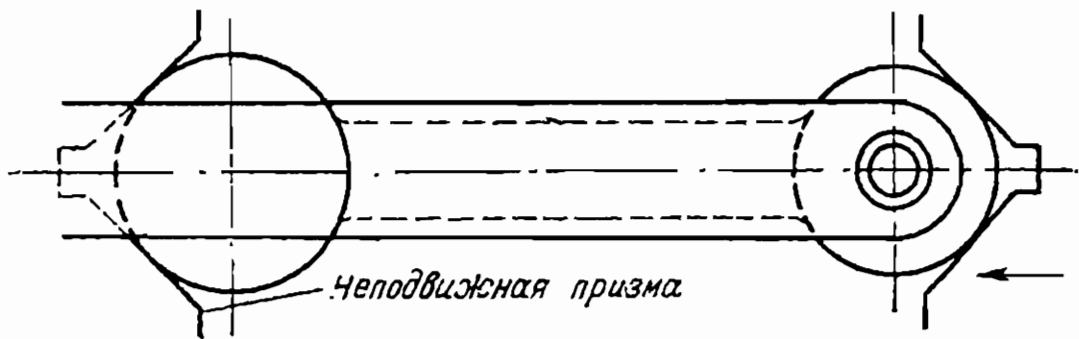
1. Если предположить, что $\delta_{d_1} = 0$ и $\delta_L = 0$, то у всех деталей точка A будет занимать одно и то же положение.

При этих условиях

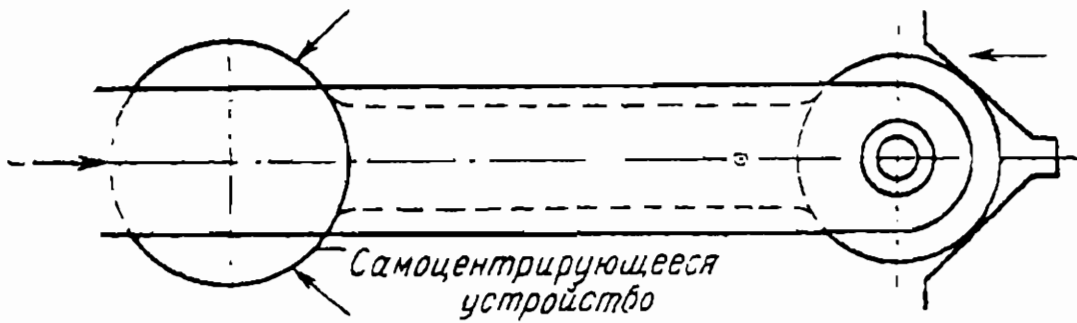
$$\epsilon'_l = \frac{\delta_{d_2}}{2}.$$



Фиг. 72.



Фиг. 73.



Фиг. 74.

2. При $\delta_{d_2} = 0$ и $\delta_L = 0$ исходная база C будет колебаться в тех же пределах, что и точка B , вследствие чего

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta_{d_1}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

3. При $\delta_{d_1} = 0$ и $\delta_{d_2} = 0$

$$\varepsilon_1''' = \delta_L.$$

Суммируя полученные данные, находим:

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta_{d_2}}{2} + \frac{\delta_{d_1}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) + \delta_L.$$

Перенеся призму в противоположную сторону (фиг. 73), мы получим;

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta_{d_2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Чтобы обеспечить $\varepsilon_1 = 0$, необходимо осуществить установку по схеме, показанной на фиг. 74.

Установка по цилиндрическому отверстию

Устанавливают по цилиндрическому отверстию обычно при помощи оправок. Оправки в отношении значения ε могут быть подразделены на две категории: 1) жесткие цилиндрические и 2) самоцентрирующегося типа (разжимные, раздвижные, конические).

Основное различие между указанными категориями заключается в том, что при цилиндрических оправках положение центра отверстия может колебаться в зависимости от допуска по отверстию (если иметь в виду скользящую посадку).

Наоборот, при оправках, относящихся ко второй категории, центры отверстий всех заготовок, независимо от диаметров отверстий, будут занимать неизменное положение. Разберем случай, когда исходной базой служит центр отверстия. При установке на жесткую цилиндрическую оправку положение исходной базы — центра — может колебаться в пределах максимального зазора.

Если пренебречь допуском на изготовление самой оправки, то

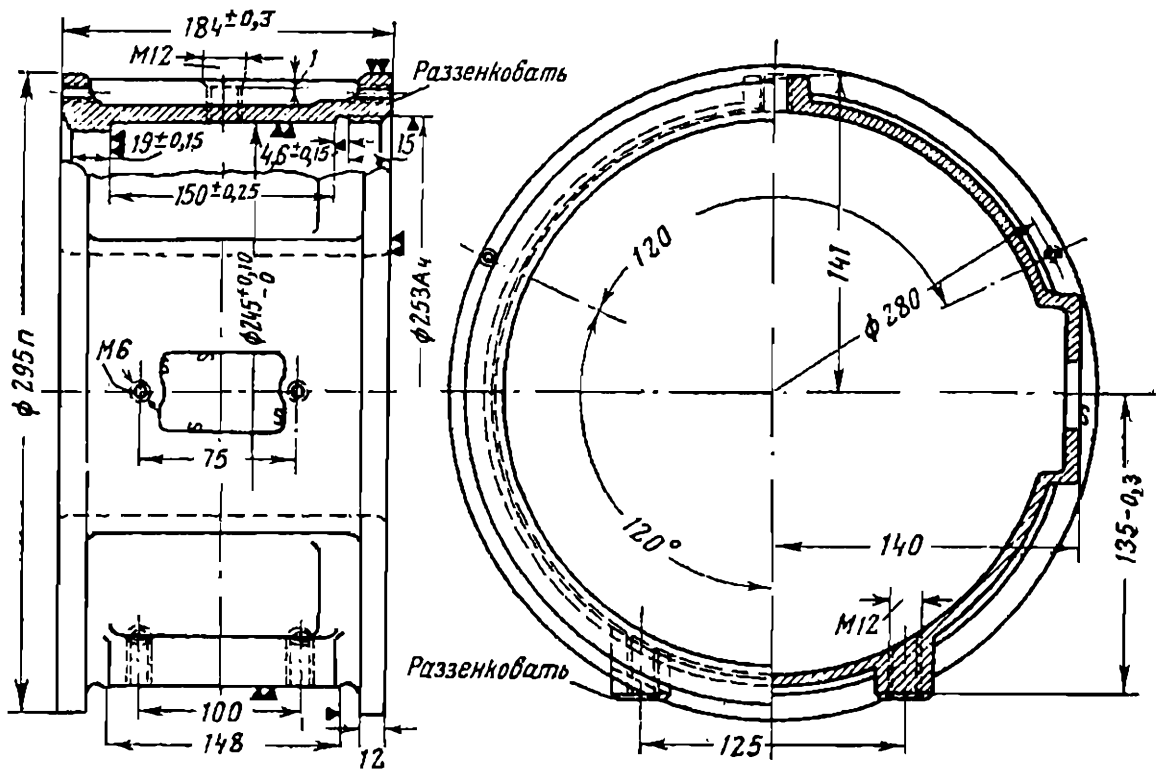
$$\varepsilon = z_{\max} = z_{\min} + \delta_A,$$

где δ_A — допуск по отверстию,

z_{\min} — наименьший зазор, необходимый для надевания детали на оправку.

Так, например, при фрезеровании бобышек корпуса электромотора (фиг. 75) требуется выдержать размер 135_{-0,3}. Деталь устанавливается в приспособлении отверстием $\varnothing 245$ мм на цилиндри-

ческий штифт. Наименьший зазор, необходимый для надевания детали, примем равным 0,03 мм.



Фиг. 75.

При этих условиях

$$\epsilon_{135} = 0,03 + 0,1 = 0,13.$$

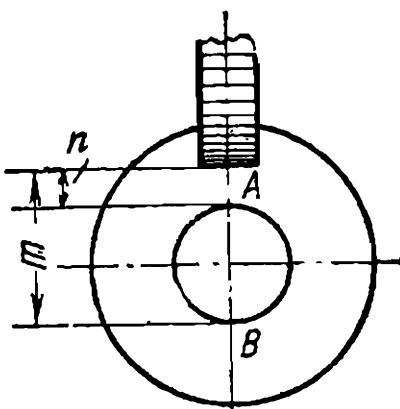
При установке на оправку самоцентрирующегося типа $\epsilon = 0$. Если исходной базой служит точка A (фиг. 76) или точка B, то:

а) при цельных цилиндрических оправках

$$\epsilon = z_{\min} + \delta_A;$$

б) при оправках самоцентрирующегося типа

$$\epsilon = \frac{\delta_A}{2}.$$



Фиг. 76.

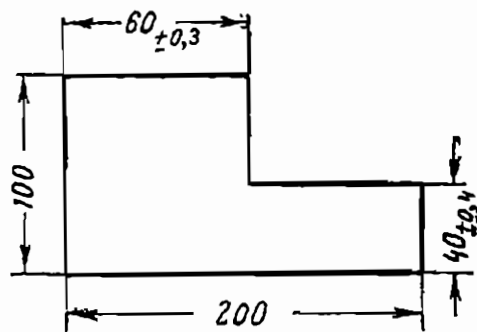
Установка по двум плоскостям

Рассмотрим один из наиболее часто встречающихся способов установки — по двум взаимно перпендикулярным плоскостям.

Допустим, например, что нужно профрезеровать уступ, выдержав размеры $60 \pm 0,3$ и $40 \pm 0,4$ (фиг. 77). Обычно устройство для установки деталей выполняется в виде угольника (фиг. 78). Исходными базами служат грани a и b. Показанное на фиг. 78 положение может иметь место лишь при заготовках, у которых угол α точно равен 90° . В действительности же угол α у разных заготовок будет колебаться в известных пределах. Обозначим допуск по

углу δ_α и рассмотрим тот случай, когда угол α может иметь различные значения в пределах от 90° до $90^\circ + \delta_\alpha$.

Если не учитывать изменений в положении изделия, связанных с условиями крепления, то, теоретически рассуждая, можно считать, что заготовки, имеющие угол $\alpha + \delta_\alpha$, могут занимать любые положения между двумя крайними, показанными на фиг. 79 и 80. Допустим вначале, что все заготовки могут занимать лишь положение, аналогичное показанному на фиг. 79. Чем меньше угол α , тем меньше отклоняется положение грани a от вертикальной полки угольника. Очевидно, в зависимости от фактического значения угла α положение грани a у различных заготовок колеблется от совпадения с вертикальной полкой угольника до положения, показанного на фиг. 79. Если считать, что обмер производится при помощи предельной скобы, то наибольшие искажения по размеру l , возникшие вследствие указанного перекоса грани a , имеют место по линии AB .



Фиг. 77.

При этих условиях

$$\epsilon_l = (H - h) \delta_\alpha,$$

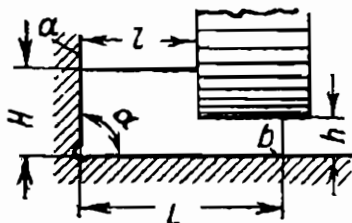
где δ_α — в радианах.

Так как δ_α задается обычно в минутах, то

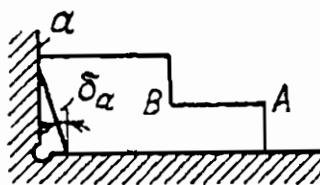
$$\epsilon_l = \frac{(H - h)}{3438} \delta_\alpha,$$

где δ_α — в минутах.

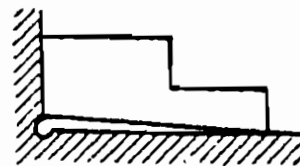
Что касается размера h , то при рассматриваемом положении заготовки можно принять $\epsilon_h = 0$.



Фиг. 78.



Фиг. 79.



Фиг. 80.

В противоположность этому нетрудно на основе подобных же рассуждений установить, что при положениях заготовок, аналогичных показанному на фиг. 80, ϵ_l может быть принято равным нулю, а

$$\epsilon_h = \frac{(L - l)}{3438} \delta_\alpha.$$

Пример. Допустим, например, что требуется обработать деталь в соответствии с размерами, показанными на фиг. 77, причем

$$\delta_\alpha = 30'; \quad \xi = 0,06; \quad \tau_1 = 0,03.$$

На основании выведенных уравнений находим:

$$\epsilon_{60} = \frac{(100 - 40) 30}{3438} = 0,52,$$

$$\epsilon_{40} = \frac{(200 - 60) 30}{3438} = 1,2.$$

Составляя соответствующие неравенства, получим:

$$\epsilon_{60} \leq 0,6 - 0,05 - 0,03; \quad \epsilon_{60} \leq 0,52.$$

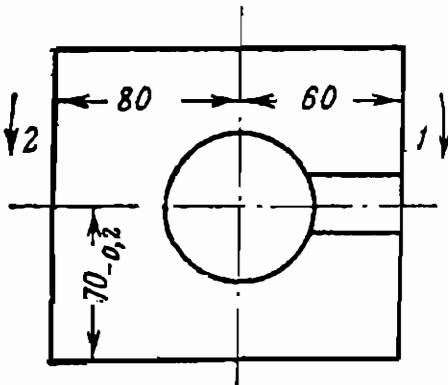
$$\epsilon_{40} \leq 0,8 - 0,05 - 0,03; \quad \epsilon_{40} \leq 0,72.$$

Таким образом в отношении размера 40 неравенство не удовлетворено, вследствие чего, хотя соответствующий допуск больше допуска по размеру 60, намеченный способ обработки не может считаться удовлетворительным.

Если величина угла может колебаться не только в сторону плюса, но и в сторону минуса, задачу весьма нетрудно решить на основе рассуждений, аналогичных приведенным.

Установка по цилиндрическому отверстию и плоскости

Способ установки изделий по цилиндрическому отверстию, которым деталь надевается на штифт с упором по какой-либо плоскости, является весьма распространенным.



Фиг. 81.

Предположим в качестве простейшего примера, что у детали, показанной на фиг. 81, требуется профрезеровать паз, причем ось его должна проходить через центр отверстия и быть параллельной нижней грани. Деталь устанавливается отверстием на штифт и упирается гранью AB в упор (фиг. 82).

Рассмотрим случай, когда допуск на отверстие обеспечивает не только выполнение первого условия, но и столь небольшое смещение центра отверстия по отношению к центру пальца, что им можно при дальнейших расчетах пренебречь. Соприкосновение по всей плоскости между гранью AB и упором будет иметь место лишь в том случае, если размер H выполнен по наибольшему предельному значению. В противном случае вследствие зазора между упором и гранью AB она может занять положение $A'B'$, показанное на фиг. 82 пунктиром.

Угол между осью паза и гранью $A'B'$ приобретает значение ϵ в том случае, если размер H выполнен по своему предельному наименьшему значению. Угол $B'A'C$ равен ϵ , как внутренний накрест лежащий.

Очевидно также, что

$$\angle AOA' = \epsilon = \angle AOE - \angle A'OF.$$

а) отбросить $H_{\min} (1 - \cos \epsilon)$, как величину, имеющую весьма небольшое значение;

б) принять

$$\sin \epsilon = \epsilon.$$

При этих условиях уравнение приобретает весьма простой вид:

$$\delta_H = S\epsilon,$$

откуда

$$\epsilon = \frac{\delta_H}{S}$$

или в минутах

$$\epsilon = 3438 \frac{\delta_H}{S}.$$

Как указывалось выше, при выводе формулы нами был отброшен второй член правой части уравнения, как имеющий весьма небольшое значение по сравнению с первым. Нетрудно установить, что отброшенный нами член, а следовательно, и полученная погрешность, имеют тем большее значение, чем больше отношение $H : S$ и чем больше угол ϵ .

О том, какой процент составляет отбрасываемый нами второй член уравнения по сравнению с первым при различных значениях ϵ и $H : S$, можно судить на основании табл. 6.

Таблица 6

ϵ	$H : S$						
	1	2	3	4	5	8	10
30'	0,52	1,04	1,56	2,08	2,6	4,16	5,2
1°	0,86	1,76	2,56	3,44	4,3	6,86	8,6
1°30'	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	10,4	13
2°	1,75	3,5	5,2	7	8,75	14	17

Даже при весьма узких и высоких изделиях, когда $H : S = 10$, и при $\epsilon = 1^\circ 30'$ второй член составляет 13% от первого.

В качестве числового примера допустим, что требуется обработать изделие, показанное на фиг. 81, причем допускаемое отклонение от параллельности между осью паза и нижней гранью равно 30'; $\xi = 20'$; $\eta = 5'$.

Пользуясь упрощенной формулой, находим:

$$\epsilon = 3438 \frac{0,2}{60} = 11,5'.$$

Полученное значение имеет место в случае поворота изделия по стрелке 1 (фиг. 81). При повороте по стрелке 2, как это очевидно из уравнения, ϵ имеет меньшее значение.

Подставив ξ и η в соответствующее неравенство, получим:

$$\epsilon \leq 30 - 20 - 5.$$

Неравенство не удовлетворено, вследствие чего конструкцию необходимо изменить. Из фиг. 82 видно, что для уменьшения ε необходимо уменьшить зазор между упором и гранью AB .

Можно сделать упор не неподвижным, а, как показано на фиг. 83, перемещающимся перпендикулярно грани AB с тем, чтобы грань соприкасалась с упором независимо от допуска на размер. При этих условиях мы получим приспособление, у которого $\varepsilon = 0$. Как и в предыдущем примере, вместо изменения конструкции приспособления можно пойти по пути изменения условий обработки.

Из приведенного уравнения видно, что при этом методе следует повысить точность обработки размера 70. В этом случае проставленный на чертеже допуск 0,2 необходимо заменить новым, определяемым из условия, что $\varepsilon \leq 5'$.

Подставив $\varepsilon = 5'$ в уравнение, находим:

$$b = 3438 \frac{\delta'_H}{60},$$

откуда

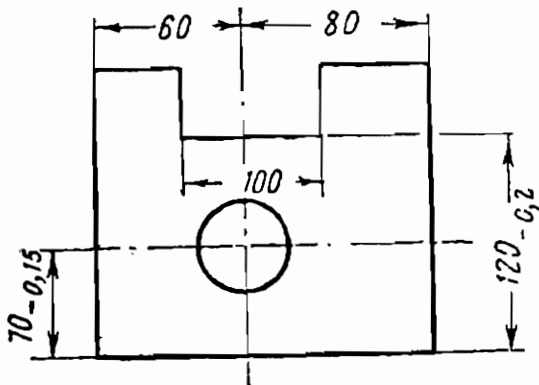
$$\delta'_H = 0,09.$$

Таким образом, если мы хотим оставить приспособление с неподвижным упором, необходимо допуск по размеру 70 уменьшить с 0,2 до 0,09 мм.

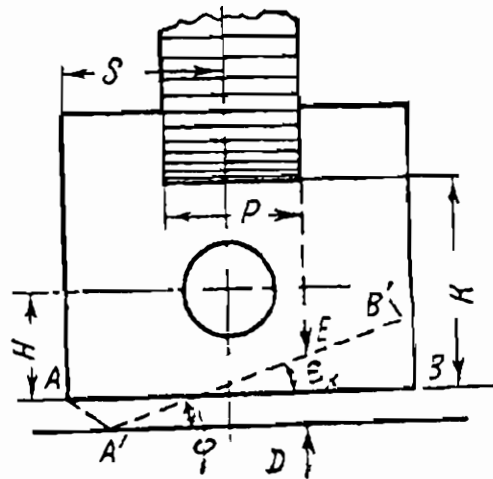
Несколько иной случай приведен на фиг. 84. Здесь требуется профрезеровать паз, причем: 1) необходимо выдержать размер 120 в пределах $\delta_{120} = 0,2$, 2) ось паза должна проходить через центр отверстия.

Допустим, что $\xi = 0,05$ и $\eta = 0,03$.

Можно ли применить в данном случае конструкцию, состоящую из неподвижных пальца и упора?



Фиг. 84.



Фиг. 85.

Решим сначала задачу в общем виде (фиг. 85). При H_{\max} исходная база — грань AB — прилегает к упору, и размер k будет иметь максимальное значение. Если размер H обработан по наименьшему предельному размеру, изделие может повернуться на угол $\varphi = \frac{\delta_H}{S}$.

Значение ε_k определяется из треугольника $A'ED$:

$$\varepsilon_k = A'D \operatorname{tg} \varphi \approx \left(S + \frac{P}{2} \right) \frac{\delta_H}{S} \approx \left(1 + \frac{P}{2S} \right) \delta_H.$$

Подставляя числовые значения, находим:

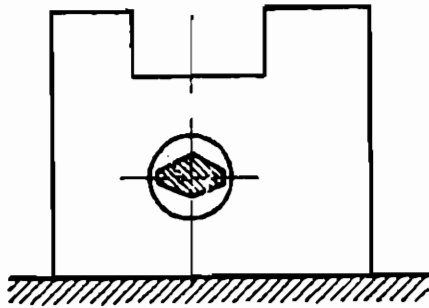
$$\epsilon_{120} = \left(1 + \frac{100}{2 \cdot 60}\right) \cdot 0,15 = 0,42.$$

Составив неравенство

$$\epsilon_{120} \leq 0,2 - 0,05 - 0,03,$$

мы видим, что оно не соблюдено.

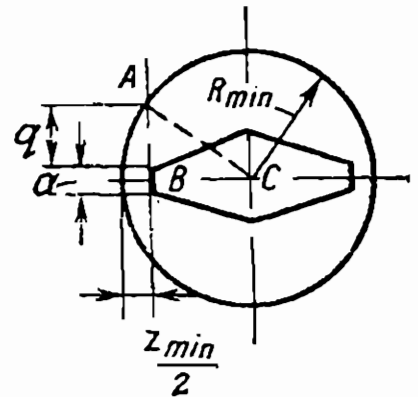
При применении подвижного упора по фиг. 83 мы получим $\epsilon_{120} = \delta_{7c} = 0,15$. Если же устроить упор неподвижным, а штифту дать возможность перемещаться в перпендикулярном к упору направлении, то в этом случае $\epsilon_{120} = 0$. Так как осуществление подобного устройства сложно, то в ряде случаев можно воспользоваться принципом, показанным на фиг. 86. Здесь при наличии уже сравнительно небольшого зазора между штифтом и отверстием деталь получает возможность свободно перемещаться (в известных пределах) по направлению, перпендикулярному к плоскости упора.



Фиг. 86.

В каких случаях подобное устройство является приемлемым, можно установить на основе следующих рассуждений. Чтобы обеспечить соприкосновение между гранью AB и упором, деталь должна иметь возможность перемещаться перпендикулярно грани AB . Для этого необходимо, чтобы между отверстием и штифтом существовал некоторый гарантированный зазор. При этом, однако, необходимо проверить, будет ли соблюдено второе требование — прохождение оси паза через центр отверстия. Величина свободного перемещения детали равна $2q$ (фиг. 87). Приспособление отвечает своему назначению лишь при условии, что

$$2q \geq \delta_H \quad \text{или} \quad q \geq \frac{\delta_H}{2}.$$



Фиг. 87.

Зависимость между величинами δ_H и z_{\min} нетрудно установить из треугольника ABC :

$$q + \frac{a}{2} = \sqrt{R_{\min}^2 - \left(R_{\min} - \frac{z_{\min}}{2}\right)^2} = \sqrt{z_{\min} \left(R_{\min} - \frac{z_{\min}}{4}\right)}.$$

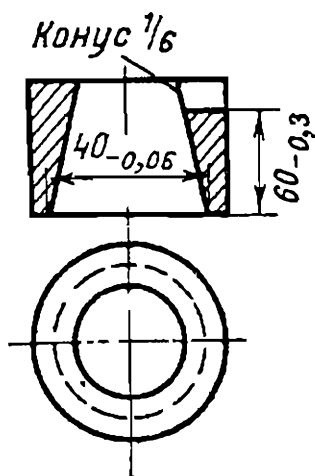
$$q = \sqrt{z_{\min} \left(R_{\min} - \frac{z_{\min}}{4}\right)} - \frac{a}{2}.$$

$$\sqrt{z_{\min} \left(R_{\min} - \frac{z_{\min}}{4}\right)} - \frac{a}{2} \geq \frac{\delta_H}{2}.$$

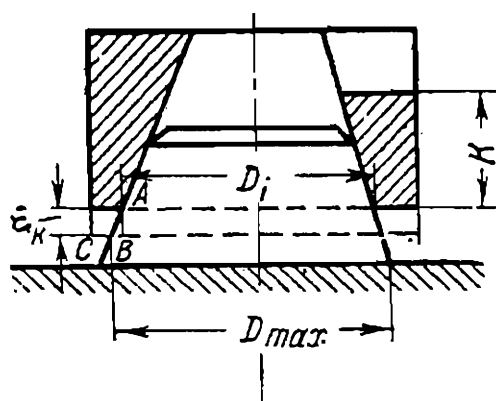
Подсчитав из приведенного уравнения величину z_{\min} , определяем далее максимальный зазор. Величина максимального зазора определяет значение ϵ в отношении прохождения оси паза через центр отверстия.

Установка по коническому отверстию и плоскости

Допустим, что у детали, показанной на фиг. 88, требуется профрезеровать паз, причем ось его должна проходить через центр конического отверстия, а нижняя плоскость паза должна отстоять от торцевой поверхности детали на расстоянии $60_{-0,3}$. Деталь устанавливается на конический штифт, как показано на фиг. 89.



Фиг. 88.



Фиг. 89.

В зависимости от колебания по большему диаметру конического отверстия могут иметь место соответствующие смещения изделия в продольном направлении.

Как нетрудно установить из треугольника ABC ,

$$\epsilon_k = \frac{\delta_D}{v},$$

где v — конусность.

Рассмотрим числовой пример, показанный на фиг. 88 (конусность $1/6$), причем допустим, что $\xi = 0,05$ мм, а

$$\eta = 0,03 \text{ мм},$$

$$\epsilon_{60} = \frac{0,06 \cdot 6}{1} = 0,36.$$

Подставив в неравенство, получим:

$$\epsilon_{60} \leq 0,3 - 0,05 - 0,03;$$

$$\epsilon_{60} \leq 0,22.$$

Неравенство не удовлетворено. Уменьшить ε_{δ_0} можно, уменьшив допуск по диаметру конуса до δ_D , определяемого из уравнения

$$0,22 = \frac{\delta'_D \cdot 6}{1},$$

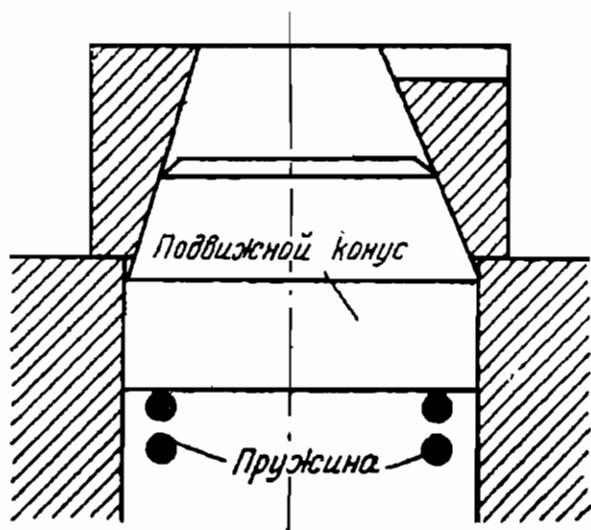
откуда

$$\delta'_D = \frac{0,22}{6} = 0,037.$$

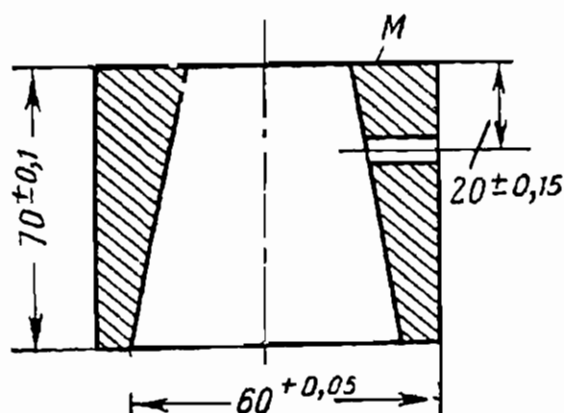
Другой путь уменьшения ε заключается в изменении способа установки. Если устроить приспособление по принципу, показанному на фиг. 90, т. е. сделать подвижной в вертикальном направлении штифт и неподвижную упорную плоскость то при этих условиях:

$$\varepsilon_k = 0.$$

Несколько иной случай показан на фиг. 91. Допустим, что $\xi = 0,05$ и $\eta = 0,03$. Деталь предполагается установить на коническом штифте. Требуется просверлить отверстие, выдержав размер $20 \pm 0,15$ до торца.



Фиг. 90.



Фиг. 91.

Рассмотрим сначала задачу в общем виде.

Положение торца M , как это нетрудно установить, зависит от двух размеров: $H = 70$ и $D = 60$.

При $\delta_H = 0$

$$\varepsilon' = \frac{\delta_D}{\nu},$$

а при $\delta_D = 0$

$$\varepsilon'' = \delta_H.$$

Следовательно,

$$\varepsilon = \varepsilon' + \varepsilon'' = \frac{\delta_D}{\nu} + \delta_H.$$

В нашем примере

$$\varepsilon = \frac{0,05 \cdot 6}{1} + 0,2 = 0,5.$$

Составив неравенство, получим:

$$\varepsilon \leq 0,3 - 0,05 - 0,03, \\ \varepsilon \leq 0,22.$$

Соблюсти неравенство можно следующими способами.

1. Уменьшить допуск по диаметру отверстия с тем, чтобы

$$\delta_H + \frac{\delta'_D}{\nu} \leq 0,22$$

и, следовательно,

$$\delta'_D \leq \frac{0,02}{6}.$$

Выдерживать конус в пределах указанного допуска практически нецелесообразно.

2. Уменьшить допуск на размер 70. Этот способ в данном случае неприемлем, поскольку, если бы даже установить по размеру 70 допуск, равный нулю, неравенство все равно не было бы удовлетворено.

3. Одновременно уменьшить допуск по размеру 70 и диаметру конического отверстия.

4. Изменить способ установки и сделать приспособление по принципу, показанному на фиг. 90. При этих условиях колебания по диаметру на размере 20 не отразятся:

В силе, однако, остается смещение, вызываемое колебаниями по размеру 70, и следовательно,

$$\varepsilon_{20} = \delta_{70} = 0,2,$$

что в приведенном случае является приемлемым.

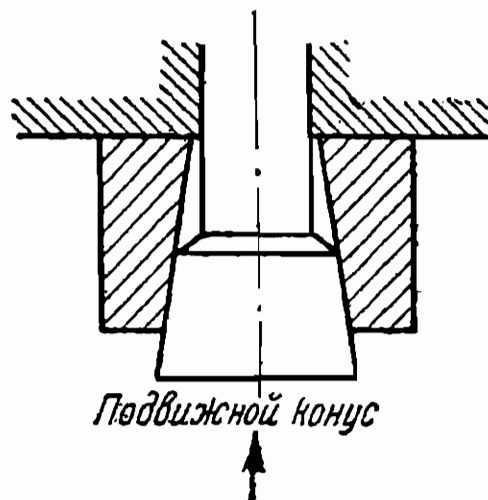
Если бы допуск по размеру 20 был установлен не 0,3, а более узкий, например 0,2 мм, то, очевидно, конструкция по фиг. 90 не могла бы считаться приемлемой.

Изменив последнюю по фиг. 92, т. е. перенеся упорную плоскость наверх, мы получим приспособление, при котором

$$\varepsilon_{20} = 0$$

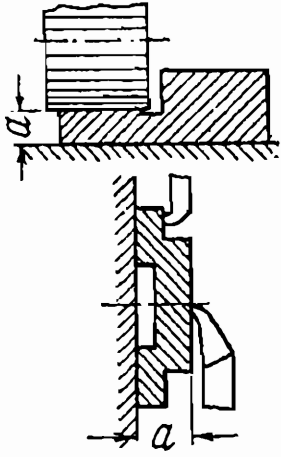
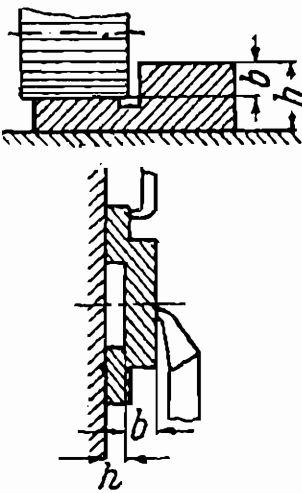
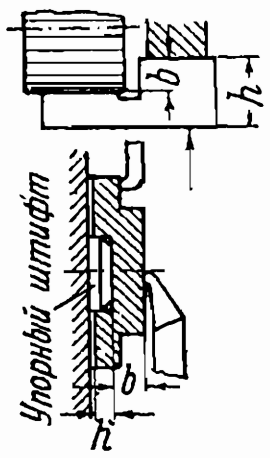
вне зависимости от колебаний как по диаметру конуса, так и по размеру.

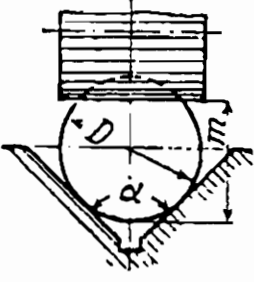
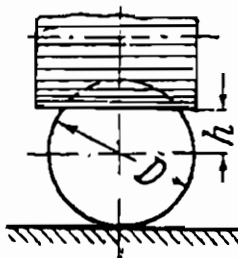
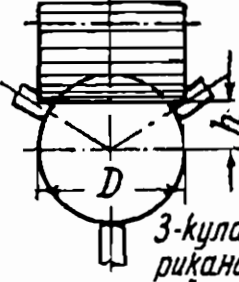
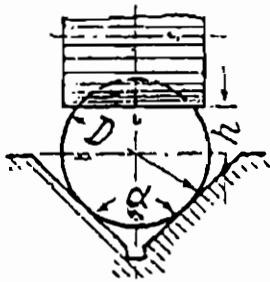
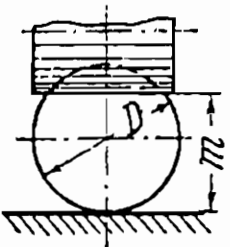
В табл. 7 даны формулы, определяющие значения ε для наиболее типичных случаев.

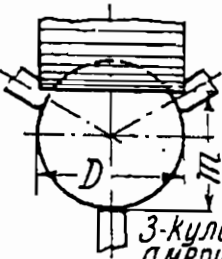
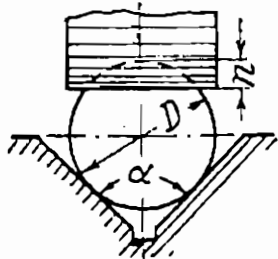
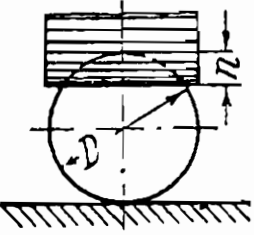
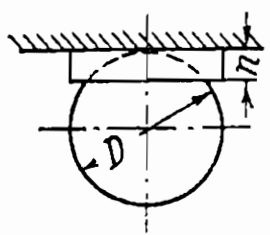
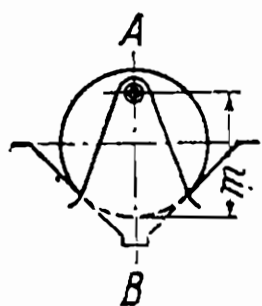


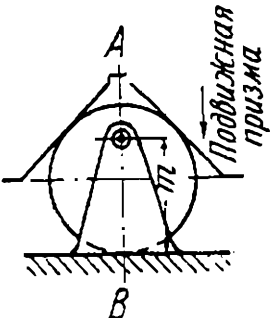
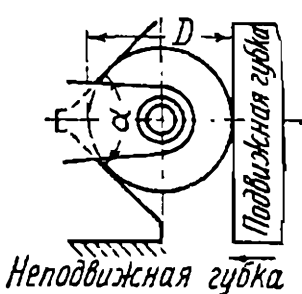
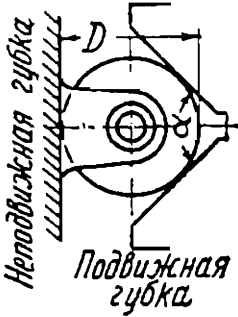
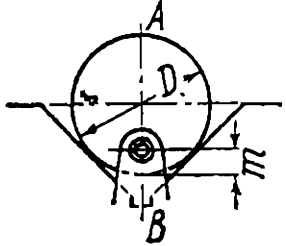
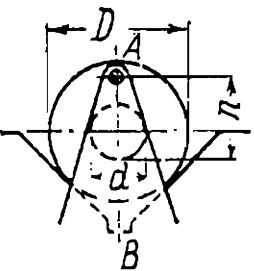
Фиг. 92.

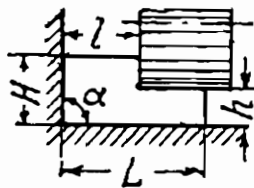
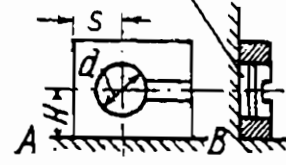
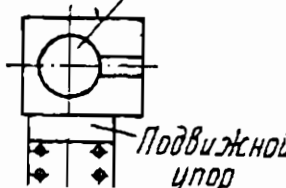
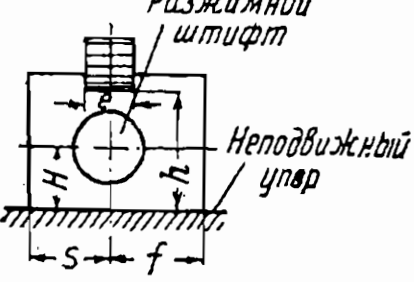
Значения ϵ для типовых случаев установки

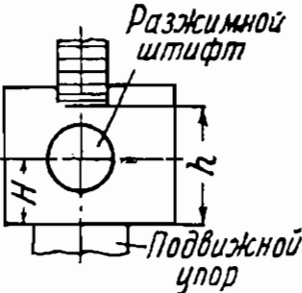
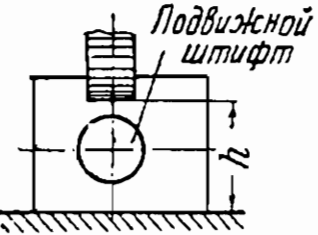
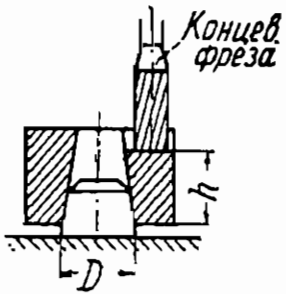
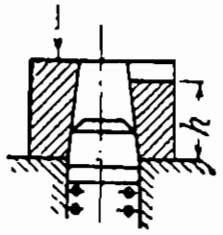
Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ϵ
	Размер a	$\epsilon = 0$
	Размер b	$\epsilon = \delta h$
 <p data-bbox="327 1799 375 2058">Упорный штифт</p>	Размер b	$\epsilon = 0$

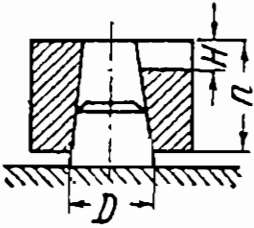
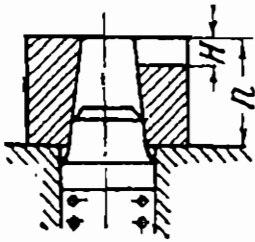
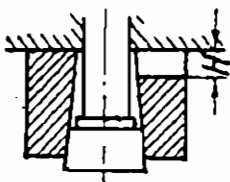
Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ϵ
	Размер m	$\epsilon = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$
	Размер h	$\epsilon = \frac{\delta_D}{2}$
 <p data-bbox="327 1258 662 1399"><i>3-кулачный американский патрон или другое приспособление самоцентр. типа.</i></p>	Размер h	$\epsilon = 0$
	Размер h	$\epsilon = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$
	Размер m	$\epsilon = 0$

Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ε
 <p>3-кулачковый американский патрон</p>	Размер m	$\varepsilon = \frac{\delta_D}{2}$
	Размер n	$\varepsilon = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$
	Размер n	$\varepsilon = \delta_D$
	Размер n	$\varepsilon = 0$
	1. Положение центра отверстия на прямой АВ 2. Размер m	$\varepsilon_e = 0$ $\varepsilon_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$

Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ϵ
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение центра отверстия на прямой AB 2. Размер m 	$\epsilon_c = 0$ $\epsilon_m = 0$
	<p>Концентричность сверлимого отверстия с наружной цилиндрической поверхностью</p>	$\epsilon = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$
	<p>Концентричность сверлимого отверстия с наружной цилиндрической поверхностью</p>	$\epsilon = \frac{\delta_D}{2}$
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение центра отверстия на прямой BA 2. Размер m 	$\epsilon_e = 0$ $\epsilon_m = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение центра отверстия на прямой AB 2. Размер n 	$\epsilon_e = 0$ $\epsilon_n = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta_D}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \delta_d \right)$

Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ϵ
	<p>Размер l</p> <p>» h</p>	$\epsilon_l = \frac{(H-h) \delta_\alpha}{3438}$ $\epsilon_h = \frac{(L-l) \delta_\alpha}{3438}$
<p>Разжимной штифт</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ось паза должна проходить через центр 2. Параллельность оси паза грани AB 	$\epsilon = 0$ $\epsilon_\alpha = 3438 \frac{\delta H}{S}$
<p>Разжимной штифт</p>  <p>Подвижной упор</p>	<p>То же</p>	$\epsilon_\rho = 0$ $\epsilon_\alpha = 0$
<p>Разжимной штифт</p>  <p>Неподвижный упор</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ось паза должна проходить через центр 2. Размер h 	$\epsilon = 0$ $\epsilon_h = \frac{\delta H}{S} \left(S + \frac{l}{2} \right)$

Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ϵ
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ось паза должна проходить через центр 2. Размер h 	$\epsilon = 0$ $\epsilon_h = \delta H$
	<p>То же</p>	$\epsilon_h = 0$
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ось паза должна проходить через центр отверстия 2. Размер h 	$\epsilon_e = 0$ $\epsilon_h = \frac{\delta D}{v}$, где v — конусность
	<p>То же</p>	$\epsilon_e = 0$ $\epsilon_h = 0$

Эскиз	Что требуется выдержать	Значение ϵ
	<p>Ось паза должна проходить через центр отверстия, но требуется выдержать размер H</p>	$\epsilon_H = \frac{\delta_D}{v} + \delta_n$
	<p>То же</p>	$\epsilon_H = \delta_n$
	<p>То же</p>	$\epsilon_H = 0$

Г. Настройка станка на точность

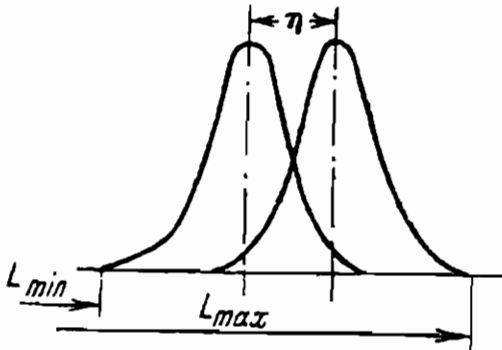
В настоящее время правильность настройки станка нередко контролируется путем обмера одной пробной детали предельным рабочим калибром.

Этот метод контроля настройки ни в коей мере не может быть признан удовлетворительным.

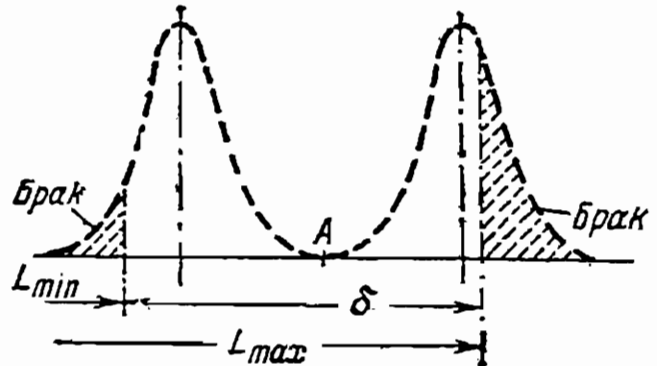
Настройкой станка обуславливается положение кривой распределения размеров обработанных деталей по отношению к полю допуска. Замеряя пробную деталь предельным калибром, мы тем самым допускаем, что размер ее может иметь любое значение в пределах поля допуска. Обеспечить отсутствие брака мы можем лишь при

условии, что кривая распределения не будет выходить за предельные положения, показанные на фиг. 93.

Если же пробная деталь имеет размер, характеризуемый, например, точкой A (фиг. 94), то кривая распределения деталей, обработанных при данной настройке, может занять любое положение между двумя крайними положениями, показанными жирным пунктиром.



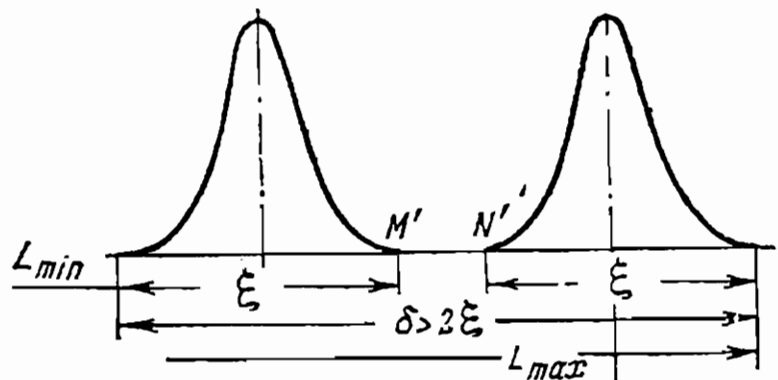
Фиг. 93.



Фиг. 94.

Чтобы избежать брака, можно было бы установить особые, отличные от общего допуска на деталь пределы, в которых должен находиться размер пробной детали. Этот метод, однако, может быть использован лишь в тех случаях, когда $\delta > 12\sigma$. При этих условиях (фиг. 95) можно считать, что настройка произведена правильно, если размер пробной детали не выходит за пределы интервала $M'N'$. Не говоря уже о недостоверности всяких выводов, основанных на замере только одной детали, этот метод нельзя рекомендовать по следующим причинам. В большинстве случаев, чтобы выдержать заданный допуск δ , нет необходимости применять такие способы обработки, при которых $\delta > 12\sigma$. Кроме того, при этом методе чрезвычайно осложняется процесс настройки, так как необходимо добиться того, чтобы размер пробной детали оказался в пределах весьма узкого допуска на настройку

$$\delta_p = \delta - 12\sigma.$$



Фиг. 95. Настройка при $\delta > 12\sigma$.

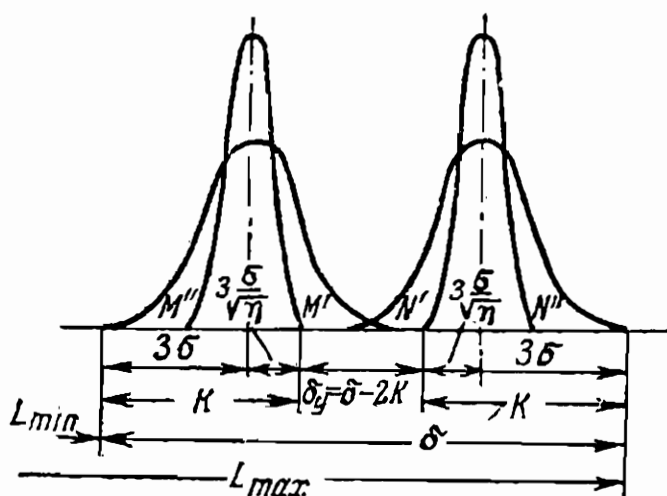
Ниже изложен разработанный автором метод контроля настройки станка, основанный на установлении пределов, в которых должно находиться среднее арифметическое нескольких пробных деталей, обработанных в процессе настройки.

Настройка при $\epsilon = 0$

Рассмотрим вначале этот метод, предполагая, что отклонения, вызываемые изнашиванием режущего инструмента в период между двумя поднастройками станка, весьма малы, и ими можно пренебречь.

Предположим, что мы имеем совокупность деталей, причем кривая распределения размеров этих деталей представляет собою кривую Гаусса со средним квадратическим отклонением σ . Разобьем всю совокупность на группы по n деталей в группе и для каждой группы определим среднее арифметическое из размеров. Построив кривую распределения групповых средних, мы получим также кривую Гаусса, но со средним квадратическим отклонением $\sigma_T = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (фиг. 96).

Так как мы условились, что режущий инструмент изнашивается весьма мало, то, обработав n пробных деталей, мы вправе будем считать, что среднее арифметическое этой группы деталей может отличаться от среднего арифметического всей совокупности деталей не более чем на $3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.



Фиг. 96. Настройка при $\delta < 12\sigma$.

Отсюда вытекает следующий метод настройки станка. Обработывается n пробных деталей и вычисляется для них среднее арифметическое. Если это среднее арифметическое находится в интервале $M'N'$, то настройка произведена правильно.

Обозначим: L_H — среднее арифметическое из размеров пробных деталей; L_{max} — наибольший предельный размер по чертежу; L_{min} — наименьший предельный размер по чертежу.

Критерием правильности настройки служит следующее неравенство:

$$L_{min} + 3\sigma + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq L_H \leq L_{max} - 3\sigma - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$L_{min} + k \leq L_H \leq L_{max} - k,$$

где

$$k = 3\sigma \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}} \right).$$

Величину $M'N'$, которую можно рассматривать, как допуск на настройку, обозначим через δ_y . Очевидно,

$$\delta_y = \delta - 2k.$$

Обозначив

$$\frac{L_{max} + L_{min}}{2} = L_{cp},$$

мы можем считать, что настройка произведена правильно, если

$$L_H = L_{cp} \pm \frac{\delta_y}{2}.$$

Минимальное количество пробных деталей, которое нужно обработать при настройке станка, определяется из условия, что $\delta - 2k > 0$,

или

$$\delta > 2 \cdot 3\sigma \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right).$$

Разрешив это уравнение относительно n , получим

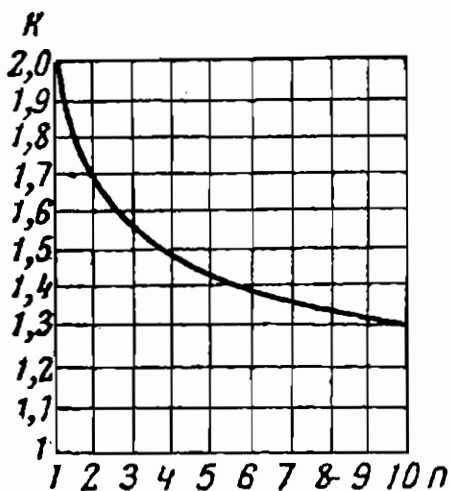
$$n > \left(\frac{6\sigma}{\delta - 6\sigma}\right)^2.$$

На фиг. 97 показан график, при помощи которого можно весьма просто определить как минимальное количество пробных деталей, так и величину k .

Например, если $\sigma = 0,02$ мм, а допуск $\delta = 0,18$, то k должно быть не больше чем $\frac{\delta}{2}$, т. е. 0,09 мм. Из графика находим, что при $k = 90$ м и $\sigma = 20$ м количество пробных деталей должно быть больше четырех.

Чем больше количество пробных деталей, тем меньше k , тем, следовательно, больше допуск на настройку $\delta_y = \delta - 2k$, но чрезмерное увеличение количества пробных деталей нецелесообразно.

На фиг. 98 показан характер зависимости между количеством пробных деталей n и величиной k .

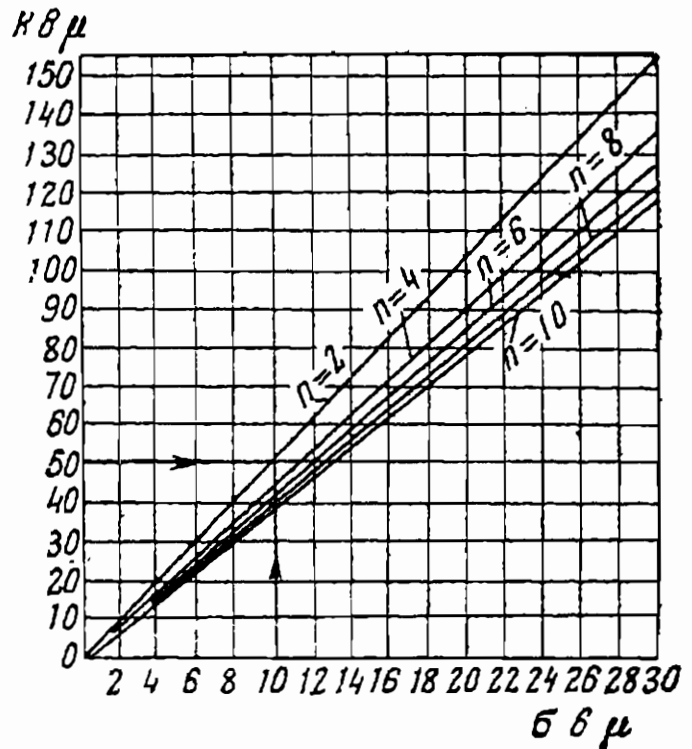


Фиг. 98.

Настройку следует считать правильной, если среднее арифметическое четырех пробных деталей окажется равным:

$$L_{\text{ср}} \pm \frac{\sigma_y}{2} = 9,95 \pm 0,005,$$

т. е. будет находиться в пределах 9,945—9,955.



Фиг. 97. График для определения значения k .

Нормальным следует считать количество пробных деталей от двух до восьми. Дальнейшее увеличение количества пробных деталей в отношении уменьшения величины k делается мало эффективным.

Пример. Требуется настроить станок для обработки валиков $\varnothing 10^{-0,1}$ мм, причем $\sigma = 0,01$ мм. В соответствии с вышеизложенным k должно быть меньше половины допуска, т. е. меньше 0,05 мм. По графику (фиг. 97) находим, что для этого нужно при настройке обработать не менее двух пробных деталей. Примем количество пробных деталей равным четырем. При этих условиях $k = 45$ м, а допуск на настройку $\delta_y = \delta - 2k = 0,01$ мм.

Если среднее арифметическое пробных деталей окажется вне пределов $L_{\text{ср}} \pm \frac{\delta_y}{2}$, то станок нужно будет поднастроить (в ту или другую сторону) на разность между средним арифметическим и ближайшим из значений

$$L_{\text{ср}} + \frac{\delta_y}{2} \quad \text{или} \quad L_{\text{ср}} - \frac{\delta_y}{2}.$$

Следует, однако, иметь в виду, что в тех условиях, когда среднее арифметическое пробных деталей $L_{\text{н}}$ находится вне пределов $L_{\text{ср}} \pm \frac{\delta_y}{2}$, могут иметь место два случая:

$$1) L_{\text{н}} < L_{\text{min}} + m \quad \text{или} \quad L_{\text{н}} > L_{\text{max}} - m,$$

где
$$m = 3\sigma \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n}}\right);$$

в этом случае станок настроен неправильно;

$$2) L_{\text{min}} + m \leq L_{\text{н}} \leq L_{\text{max}} - m.$$

В данном случае утверждать, что станок настроен безусловно неправильно, мы не можем.

При этих условиях можно поступить двояко:

а) считая, что станок настроен неверно, произвести поднастройку в соответствии с изложенной методикой;

б) обработать еще несколько пробных деталей и определить новые значения среднего арифметического и величины k .

Очевидно, что с увеличением количества пробных деталей увеличивается интервал $M'N'$ и одновременно уменьшаются интервалы $M'M''$ и $N'N''$. Вследствие этого понижается вероятность того, что среднее арифметическое снова будет иметь такое значение, при котором мы не сможем судить о правильности настройки.

Предположим, например, что в предыдущем примере размеры пробных деталей оказались равными 9,98; 9,95; 9,97; 9,96. Следовательно, среднее арифметическое

$$L_{\text{н}} = \frac{9,97 + 9,95 + 9,98 + 9,96}{4} = 9,965.$$

Станок нужно поднастроить на величину

$$9,965 - 9,955 = 0,01 \text{ мм.}$$

Можно также попытаться обработать еще две детали, не поднастраивая станка. Предположим, что размеры их оказались равными 9,94 и 9,96. При шести пробных деталях $k' = 43\mu$, а допуск на настройку

$$\delta_y = \delta - 2k' = 0,014.$$

При правильной настройке среднее арифметическое должно равняться

$$L_{\text{н}} = 9,95 \pm 0,007,$$

т. е. находиться в пределах 9,943 — 9,957.

Действительное среднее арифметическое

$$L'_H = \frac{9,97 + 9,95 + 9,98 + 9,96 + 9,94 + 9,96}{6} = 9,96.$$

Среднее арифметическое хотя и находится вне пределов, при которых мы можем утверждать, что настройка произведена правильно, но ближе к ним, чем это было при четырех деталях. Поэтому обрабатываем еще две детали. Предположим, что размеры этих деталей равны 9,93 и 9,97.

При восьми пробных деталях $k'' = 42\mu$, а $\delta''_y = 0,016$;

$$L''_H = L_{cp} \pm \frac{\delta''_y}{2} = 9,95 \pm 0,008,$$

т. е.

$$L''_H = \frac{9,97 + 9,95 + 9,98 + 9,96 + 9,94 + 9,96 + 9,93 + 9,97}{8} = 9,958.$$

Настройка, следовательно, произведена правильно.

На основе изложенного устанавливаем метод контроля настройки:

1. Обработать партию пробных деталей, количество которых определяется по графику фиг. 97 в зависимости от допуска и значения σ .

2. Определить среднее арифметическое размеров пробных деталей, и если среднее арифметическое L_H окажется в пределах $L_{cp} \pm \frac{\delta_y}{2}$, станок настроен правильно.

3. В противном случае станок следует поднастроить на разность между полученным средним арифметическим и ближайшим из значений $L_{cp} + \delta_y$ или $L_{cp} - \delta_y$.

4. Если среднее арифметическое окажется хотя и вне пределов $L_{cp} \pm \frac{\delta_y}{2}$, но больше $L_{min} + m$ или меньше, чем $L_{max} - m$, можно вместо поднастройки дополнительно обработать несколько пробных деталей и проверить правильность настройки в соответствии с новыми расчетами. Вопрос о целесообразности применения этого метода следует решать в каждом случае отдельно на основе сопоставления объемов работы по поднастройке и по обработке дополнительных пробных деталей.

Настройка с учетом дополнительной обработки ($6\sigma > \delta$)

В тех случаях, когда $6\sigma > \delta$ и операция строится с учетом дополнительной обработки деталей, при настройке станка нужно руководствоваться следующими зависимостями (фиг. 99).

Станок настроен правильно, если удовлетворено следующее неравенство:

$$L_{min} + k \leq L_H \leq L_{min} + 3\sigma + \eta - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

или

$$L_{min} + k \leq L_H \leq L_{min} + m + \eta.$$

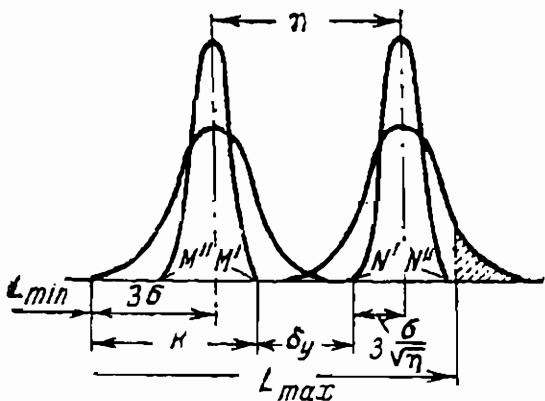
Допуск на настройку равняется:

$$\delta_y = m + \eta - k = \eta - \frac{6\sigma}{\sqrt{n}}$$

Количество пробных деталей определится из условия:

$$\eta - \frac{6\sigma}{\sqrt{n}} > 0,$$

$$n > \left(\frac{6\sigma}{\eta}\right)^2.$$



Фиг. 99. Настройка при $\delta < 6\sigma$. Заштрихованная часть — относительное количество деталей, подлежащих дополнительной обработке.

Если среднее арифметическое хотя и находится вне пределов, определяемых неравенством, но $L_{\min} + m < L_H \leq L_{\min} + k + \eta$, то можно, как и в предыдущем случае (т. е. когда $6\sigma < \delta$), вместо поднастройки станка попытаться обработать дополнительное количество пробных деталей.

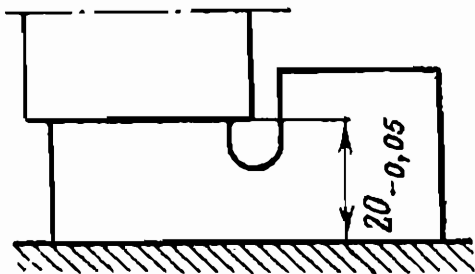
Пример. Требуется профрезеровать плоскость (фиг. 100), выдержав размер $20_{-0,05}$, причем $\sigma = 0,01$.

Так как выдержать размеры всех деталей в пределах допуска не представляется возможным, задаемся $\eta = 0,03$.

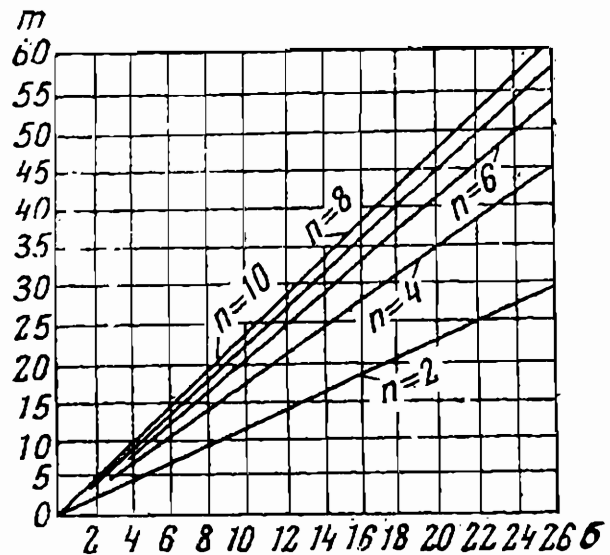
Количество пробных деталей определяем из неравенства:

$$n > \left(\frac{6 \cdot 0,01}{0,03}\right)^2;$$

$$n > 4.$$



Фиг. 100.



Фиг. 101.

Принимаем $n = 6$.

По графикам фиг. 97 и 101 находим $k = 0,042$ и $m = 0,018$.

В соответствии с зависимостями, выведенными выше:

1) настройка произведена правильно, если $19,95 + 0,042 \leq L_H \leq 19,95 + 0,03 + 0,018$,

$$19,992 \leq L_H \leq 19,998;$$

2) к обработке дополнительных пробных деталей для проверки правильности настройки можно прибегнуть в том случае, если

$$19,95 + 0,018 \leq L_H \leq 19,95 + 0,03 + 0,042;$$

$$19,968 \leq L_H \leq 20,122.$$

В соответствии с этим

$$\delta'_L = L_{i \max} - L_{i \min} = L_{\max} - L_{\min} - (\gamma_B + \gamma_H);$$

$$\gamma_B + \gamma_H = H_{\max} - H_i + H_i - H_{\min} = H_{\max} - H_{\min} = \varepsilon_L.$$

Следовательно,

$$\delta'_L = \delta_L - \varepsilon_L.$$

Количество пробных деталей

$$n > \left(\frac{6\sigma}{\delta'_L - 6\sigma} \right)^2.$$

Допуск на настройку

$$\delta'_y = \delta'_L - 2k.$$

При правильной настройке среднее арифметическое из размеров пробных деталей должно находиться в пределах

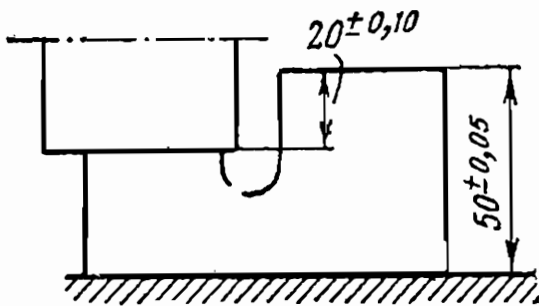
$$L_H = L_{i \text{ ср}} \pm \frac{\delta'_y}{2},$$

где

$$L_{i \text{ ср}} = \frac{L_{i \min} + L_{i \max}}{2}.$$

Например, нужно настроить станок для обработки детали, показанной на фиг. 104, причем $\sigma = 0,01$.

Очевидно, $\varepsilon_{20} = 0,1$.



$$\delta'_{20} = \delta_{20} - \varepsilon_{20} = 0,2 - 0,1 = 0,1.$$

Количество пробных деталей

$$n > \left(\frac{6 \cdot 0,01}{0,1 - 6 \cdot 0,01} \right)^2; n > 3.$$

Фиг. 104.

Принимаем количество пробных деталей $n = 4$.

Допуск на настройку

$$\delta'_y = \delta'_L - 2k = 0,01 \quad (k \text{ определяем по графику на фиг. 97}).$$

Предположим, что толщина пробных деталей $H_i = 50,02$.

При этих условиях

$$\gamma_B = 50,05 - 50,02 = 0,03,$$

$$\gamma_H = 50,02 - 49,95 = 0,07.$$

Предельные значения $L_{i \max}$ и $L_{i \min}$ определяются из уравнений;

$$L_{i \max} = 20,1 - 0,03 = 20,07;$$

$$L_{i \min} = 19,9 + 0,07 = 19,97;$$

$$L_{i \text{ ср}} = \frac{20,07 + 19,97}{2} = 20,02.$$

Среднее арифметическое из размеров пробных деталей должно находиться в пределах

$$L_H = 20,02 \pm 0,005.$$

Рассмотренный метод контроля настройки при $\varepsilon \neq 0$ является общим для самых различных случаев.

Значения $\gamma_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{н}}$ определяются в зависимости от способа установки детали.

Весьма важно отметить, что формулы, по которым определяются значения $\gamma_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{н}}$, аналогичны формулам, по которым определяются соответствующие значения ε .

Если $\varepsilon = f(\delta_A)$, то

$$\gamma_{\text{в}} = f(A_{\text{max}} - A_i),$$

$$\gamma_{\text{н}} = f(A_i - A_{\text{min}})$$

или, наоборот,

$$\gamma_{\text{в}} = f(A_i - A_{\text{min}})$$

$$\gamma_{\text{н}} = f(A_{\text{max}} - A_i).$$

Допустим, что требуется настроить станок для обработки детали, показанной на фиг. 105, причем $\sigma = 0,015$.

$$\varepsilon_{\text{до}} = \frac{0,3}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = 0,06;$$

$$\delta' = 0,2 - 0,06 = 0,14.$$

Количество пробных деталей:

$$n > \left(\frac{6 \cdot 0,015}{0,14 - 6 \cdot 0,015} \right)^2;$$

$$n > 4.$$

Принимаем $n = 6$.

Допуск на настройку:

$$\delta_y = 0,14 - 0,126 = 0,014.$$

Предположим, что для настройки мы отобрали группу пробных деталей с $D_i = 39,8$. Определим $\gamma_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{н}}$:

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{D_i - D_{\text{min}}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = \frac{39,8 - 39,7}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = 0,02;$$

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{D_{\text{max}} - D_i}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = \frac{40 - 39,8}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = 0,04;$$

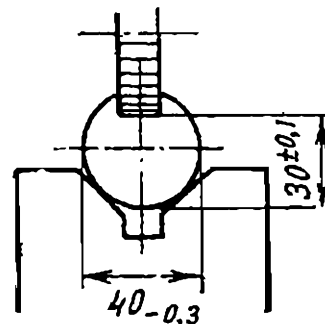
$$L_{i \text{ max}} = 30,1 - 0,02 = 30,08;$$

$$L_{i \text{ min}} = 29,9 + 0,04 = 29,94;$$

$$L_{i \text{ ср}} = \frac{30,08 + 29,94}{2} = 30,01.$$

Станок настроен правильно, если среднее арифметическое из размеров шести пробных деталей не выходит из пределов

$$L_{\text{н}} = 30,01 \pm 0,007$$



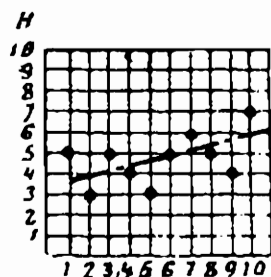
Фиг. 105.

Поправки на износ режущего инструмента

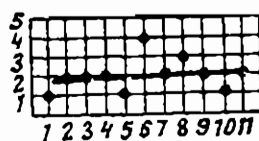
Выводя зависимости, связанные с настройкой станка, мы предполагали, что отклонения в размерах деталей, вызываемые износом резца в период между двумя поднастройками станка, весьма малы и ими можно пренебречь. Это допущение справедливо для большинства чистовых операций точного приборостроения.

Автор провел на 1-м часовом заводе исследования, посвященные влиянию износа резца на размеры деталей, обрабатываемых на автомате «Торнос».

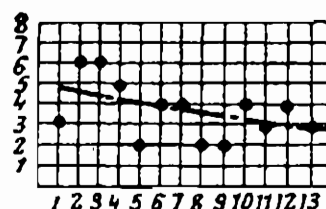
Эти исследования проводились следующим образом. После заправки прутка детали по мере их обработки вставляли в определенной последовательности в отверстия специальной доски. Положение каждой детали на доске указывало на то, которой по счету после заправки прутка эта деталь была обработана. В процессе обработки одного прутка станок не поднастраивали. Затем детали замеряли, и данные замера, полученные для каждой партии, изготовленной из одного прутка (в среднем из прутка выходило 100 деталей), обрабатывались по способу наименьших квадратов.



Фиг. 106.



Фиг. 107.



Фиг. 108.

На фиг. 106—108 приведена часть результатов исследований (точки нанесены через каждые 10 деталей). Изменение размеров характеризовалось тангенсом угла наклона сглаженной прямой (показана пунктирной линией). В ряде случаев этот тангенс (фиг. 108) имел отрицательное значение. На основе результатов исследований было выведено следующее заключение: износ резца мало отражается на точности обработки, а при условии хотя бы одной подрегулировки резца после настройки может быть сведен к практически несущественной величине.

В случаях, когда влиянием износа резца пренебрегать нельзя, выведенные выше зависимости теоретически являются неверными. Следует отметить, что установление новых зависимостей, полностью учитывающих влияние износа резца, представляет преимущественно теоретический интерес.

С практической точки зрения мы считаем возможным сохранить выведенные выше зависимости, введя лишь одну поправку, обусловливаемую следующими соображениями. Если бы среднее арифметическое для группы деталей, обработанных при настройке, оказалось равным $L_{\max} - 3\sigma \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right)$ (фиг. 109), то среднее арифме-

тическое всей партии деталей сместилось бы (вследствие износа резца) вправо¹ и соответствующая кривая распределения заняла бы положение, показанное пунктиром. Чтобы этого избежать, необходимо максимальное значение среднего арифметического группы деталей, обработанных при настройке, ограничить величиной не $L_{\max} - 3\sigma \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right)$, а $L_{\max} - 3\sigma \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n}}\right) - \Delta$. В остальном методика расчетов может быть полностью сохранена.

Значение Δ зависит от величины a , на которую изнашивается резец в период между двумя поднастройками станка, и от закона, по которому протекает этот износ.

Если нам известна величина a , то, приняв в качестве первого приближения, что износ протекает по закону прямой линии, мы получим

$$\Delta = a.$$

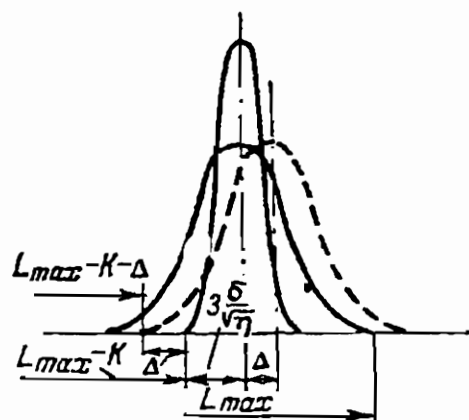
Приложимость изложенной методики настройки в тех случаях, когда действительное распределение размеров деталей не соответствует гауссовому

В курсах теории вероятностей доказывается выведенный еще Гауссом закон, который можно формулировать следующим образом.

Совершенно независимо от закона распределения единичных экземпляров распределение групповых средних при возрастании n все более и более приближается к гауссовому распределению со средним квадратическим отклонением $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

Как велико должно быть n , чтобы получить практически достаточное приближение к гауссовой кривой, зависит от того, насколько отличается от гауссового распределения первоначальное распределение.

Этот закон имеет для нас чрезвычайно важное практическое значение, так как позволяет пользоваться изложенной методикой настройки станков при любом распределении. Разумеется, в зависимости от того или иного закона распределения необходимо будет вывести и соответствующие соотношения, но основные принципы останутся неизменными.



Фиг. 109.

¹ Речь идет об обработке наружных размеров.

ГЛАВА ВТОРАЯ
ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТИ

1. ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

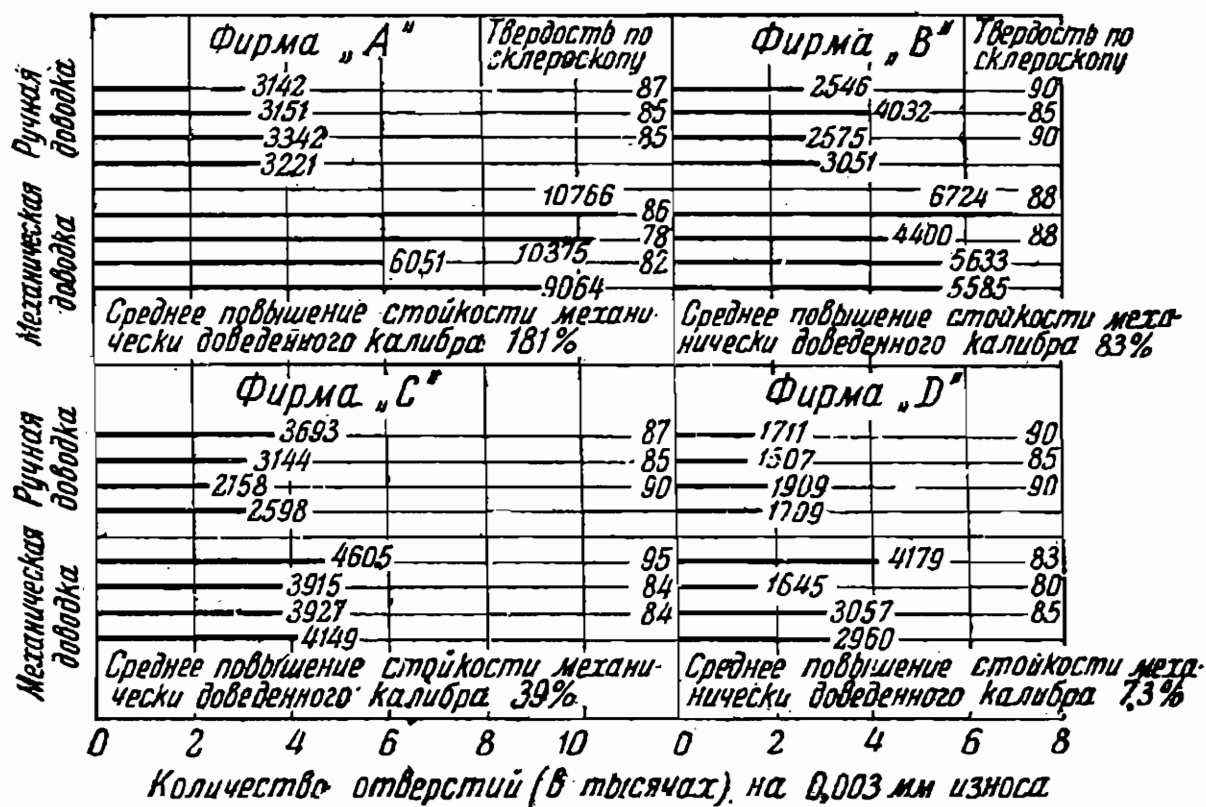
После механической обработки на детали образуются неровности поверхности в виде чередующихся гребешков и впадин (табл. 8). Поверхностный слой приобретает своеобразное строение и особые свойства, отличные от свойств более глубоких слоев металла.

Таблица 8
Величины неровностей при различных методах обработки (в μ)

Характер обработки		По данным					
		Хайленда	Аббота	Валкера	Фелца	Кизветера	Саввина
Обработка резцом и фрезерова- ние	Обдирочная	200—100	—	200	—	—	—
	Грубая	100—50	—	100	—	62	90
	Черновая	30—24	39,5	50	40—30	—	30
	Получистовая	25—13	19,95	25	—	—	—
	Чистовая	15—5	15,5	13	20—15	14,31	10
	Отделочная (тонкая)	5—2,5	—	5	4—9	—	—
Разверты- вание	Черновая	50—13	—	50	—	—	—
	Чистовая	13—5	—	13	—	—	5
Шлифовка	Черновая	50—13	—	50	—	—	—
	Чистовая обычная	13—2,5	—	13	5—4	2,9	5
	Чистовая тонкая	2,5—1,25	1,475	2,5	—	1,3	—
	Весьма тонкая	1,25—0,5	—	1,25	—	—	1
	Тонкая отделочная	0,50—0,25	—	0,50	—	—	—
Полировка	Экстра-тонкая	0,25	—	0,25	—	—	—
	Гладкая	13—2,5	—	13	—	—	—
	Тонкая	2,5—1,25	—	2,5	5	—	1
	Очень тонкая	1,25—0,5	0,775	1,25	—	0,7	—
	Тонкая отделочная	0,5—0,25	—	0,50	—	—	—
	Сверхтонкая	0,20	—	0,25	—	—	—
	Специальная	—	0,125	0,125	—	—	—

Указанные обстоятельства, как это бесспорно доказано многочисленными исследованиями, произведенными за последние годы (см. ниже), оказывают чрезвычайно существенное влияние на ряд основных свойств, определяющих долговечность изделий, прежде всего их износоустойчивость.

Форма и размеры неровностей, а также строение поверхностного слоя и его глубина зависят от технологического процесса, в первую очередь — от вида обработки.



Фиг. 110. Сопоставление стойкостей калибров, притертых вручную и механически.

Так, например, деталь швейной машины, отделанная притиркой, служила в три раза дольше, чем такая же деталь, шлифованная на бесцентрово-шлифовальном станке.

На фиг. 110 показаны данные, полученные в результате длительных (в течение 2½ лет) наблюдений, произведенных на одном из американских предприятий непосредственно в цехе. Наблюдения производились над калибрами, поставленными четырьмя различными фирмами (условно обозначенными А, В, С, D). Данные показывают количество отверстий, обмеренных цилиндрическим калибром до его износа на 0,025 мм (0,001").

Каждые четыре верхних отрезка относятся к калибрам, доведенным вручную, четыре нижних — к калибрам, доведенным механическим способом. Из фиг. 110 видно, что за счет лучшего качества поверхности при механической доводке калибров значительно повышается их долговечность.

Аналогичные зависимости между сроком службы и качеством поверхности были получены и в результате исследований объектов

из других отраслей (автомобилестроения, оптико-механического приборостроения, оружия и т. п.). Так, например, при сравнительных испытаниях на износ пальцев автомобильного мотора шлифованных и подвергавшихся лепинг-процессу оказалось, что после нескольких часов работы шлифованные пальцы изнашивались на 7,5μ, износ же пальцев, подвергавшихся лепинг-процессу, был столь незначителен, что не поддавался измерению¹.

Основными причинами, вызывающими неровности поверхности являются:

- 1) остаточное сечение стружки;
- 2) явления, происходящие в процессе резания («вырывание» вдоль границ отдельных кристаллических зерен или скоплений кристаллов — при хрупких металлах, образование нароста — при вязких металлах);
- 3) вибрации, происходящие под действием сообщаемых извне толчков, от неуравновешенных частей станка и в процессе резания.

Основными факторами, от которых зависит состояние поверхности при данном виде обработки, являются:

- 1) материал детали, его химический состав, механические свойства и структура;
- 2) станок, его состояние и степень устойчивости;
- 3) режущий инструмент;
- 4) режим работы;
- 5) охлаждение.

Детально вопрос о причинах и факторах, влияющих на качество поверхности, нами не рассматривается, так как он относится к курсу теории резания. Следует, однако, отметить, что вплоть до последнего времени при разработке технологических процессов мероприятиям, связанным с получением поверхности надлежащего качества, обычно достаточного внимания не уделялось. Вследствие этого нередко изделия, вполне доброкачественные во всех отношениях, из-за неудовлетворительного состояния поверхностей весьма быстро выходят из строя.

С другой стороны, было бы нецелесообразно стремиться выдерживать постоянно наивысшее качество поверхности, так как это неизбежно связано с повышением стоимости обработки.

Требования к качеству поверхности должны устанавливаться отдельно в каждом конкретном случае с учетом:

- 1) влияния степени отделки поверхности на факторы, обуславливающие качество изделия;
- 2) стоимости отделочных операций;
- 3) стоимости изделия;
- 4) возможности замены износившейся детали запасной.

Чем дороже деталь, чем сложнее ее замена, тем лучше следует обрабатывать ее поверхность.

При недорогих и легко сменяемых деталях выгоднее ограничиться способами обработки, дающими сравнительно грубую поверхность,

¹ «Machinery», E, 1934, № 7, March.

и тем самым пойти на уменьшение срока службы, но зато сократить расходы, связанные с отделочными операциями.

Чтобы иметь возможность решать вопросы, связанные с качеством обработанных поверхностей, необходимо:

1) установить систему стандартов, определяющих состояние поверхности, подобно тому как установлена система допусков, определяющих точность обработки;

2) в чертежах изделий наряду с допусками на точность обработки проставлять и соответствующие стандартные обозначения, характеризующие требуемое состояние поверхности;

3) при приемке изделий параллельно с проверкой их размеров предельными калибрами контролировать качество поверхности при помощи специально для этого разработанных объективных способов;

4) для каждой из стандартных степеней отделки поверхности установить технологический процесс, обеспечивающий требуемое качество поверхности.

Чтобы подойти к разрешению этих задач, необходимо предварительно провести ряд исследований для:

1) выяснения влияния состояния поверхности на качество изделий;

2) разработки методов оценки неровностей поверхности;

3) определения структурных изменений поверхностного слоя;

4) выяснения зависимости состояния поверхности от материала изделия, вида обработки и прочих технологических факторов.

Хотя за последние годы в указанных направлениях проведено довольно много исследований, большинство из перечисленных вопросов окончательно еще не разрешено.

Ниже вкратце изложен ряд основных сведений, необходимых для разрешения вопросов, связанных с качеством поверхности, при разработке технологических процессов.

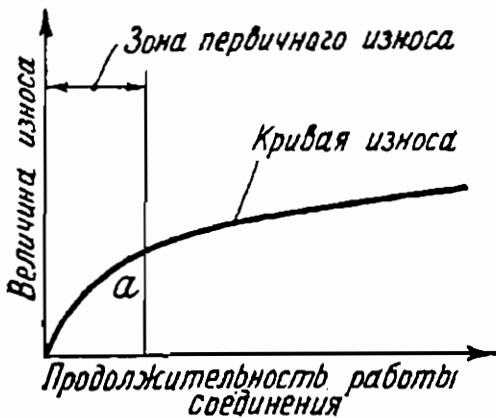
Более подробные материалы содержатся в специальных источниках, из которых в первую очередь отметим книгу: Schmidtz, Technische Oberflächenkunde, представляющую собою капитальный труд, охватывающий основные вопросы качества поверхности.

2. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬ

Как уже было указано выше, даже тщательно обработанная поверхность не является абсолютно гладкой и представляет собой чередующиеся гребешки и впадины. При взаимно-сопряженных деталях охватываемая и охватывающая поверхности соприкасаются друг с другом лишь по вершинам гребешков. Давление, передаваемое от одной детали к другой, распределяется при этих условиях не по всей теоретической площади, как это имело бы место при абсолютно гладких поверхностях, а по значительно меньшей. В соответствии с этим удельное давление превышает расчетное, что вызывает смятие, а при относительных перемещениях сопряженных деталей — также и срезание вершин гребешков.

Это влияние, усиливаемое абразивным действием оторвавшихся от поверхностного слоя частиц металла, вызывает в начальный период усиленный износ трущихся деталей, называемый «начальным (первичным) износом», в отличие от нормального износа, наступающего после образования в результате приработки сравнительно гладких поверхностей (фиг. 111).

Чтобы получить наглядное представление о том, как влияет микрогеометрия поверхности на износ, предположим, что у одной из сопряженных деталей поверхность является абсолютно гладкой, у другой имеет форму, показанную на фиг. 112.



Фиг. 111. Зависимость износа от продолжительности работы сопряжения.

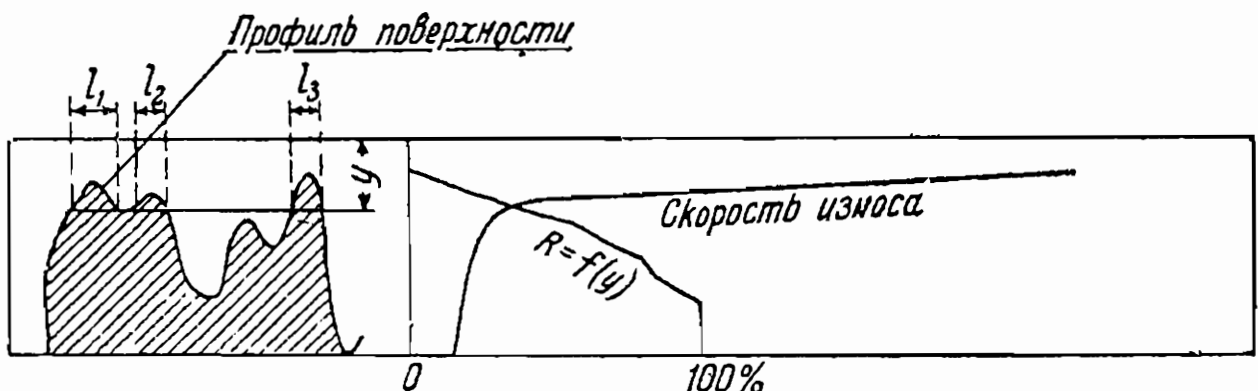
Отношение фактической площади соприкосновения, воспринимающей давление, передаваемое от одной детали к другой, к теоретической равняется отношению

$$R = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{L},$$

где L — длина детали.

Это отношение показывает также, во сколько раз неровности поверхности понижают фактическое сопротивление детали смятию по сравнению с расчетным при абсолютно гладкой поверхности. По мере износа отношение фактической площади соприкосновения к теоретической будет увеличиваться.

На фиг. 112 изображена кривая $R = f(y)$, показывающая зависимость между величиной износа и указанным отношением (в %). Эта кривая называется кривой Аббота. Скорость износа обратно пропорциональна проценту площади соприкосновения. Соответствующая кривая показана также на фиг. 112.



Фиг. 112. Зависимость между величиной износа и площадью соприкосновения.

Следует отметить, что хотя профиль поверхности может быть самой разнообразной формы, кривая $R = f(y)$ всегда бывает до известной степени плавной.

Для характеристики влияния качества поверхности на износ проф. Шмальц вводит еще понятие износа, соответствующего половине времени, потребного для полного износа неровностей. Проф. Шмальц считает, что в течение первой половины времени износа обычно происходит уменьшение высоты профиля на 60—70%.

3. СВЯЗЬ МЕЖДУ МИКРОГЕОМЕТРИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ТОЧНОСТЬЮ ОБРАБОТКИ

При установлении допусков на точность обработки исходят из того, что зазоры не должны выходить за пределы, обуславливаемые назначением сопряжения.

Вследствие износа неровностей поверхности, уже после непродолжительной работы сопряжения фактические зазоры по сравнению с зазорами, определяемыми выбранной посадкой при совершенно новых деталях, возрастают на величину начального износа. В партии одинаковых сопряжений это обстоятельство отразится на отдельных комплектах не в одинаковой степени. Там, где при сборке сопряжений действительные зазоры оказались близкими к минимальному, увеличение их на величину начального износа существенного значения может и не иметь, в противных же случаях износ неровностей может служить причиной того, что фактические зазоры превысят значение зазора, допустимого при нормальной работе сопряжения.

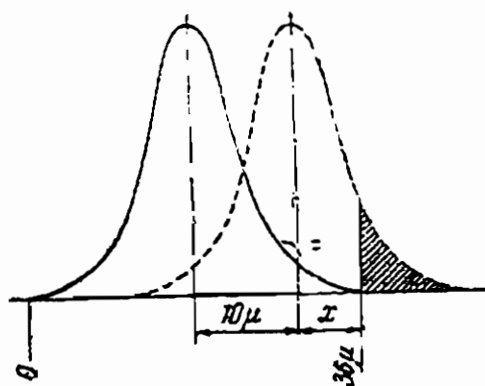
Судить о том, в какой степени износ неровностей отражается на характере посадки, можно на основе следующих соображений. Распределение зазоров в большинстве случаев с достаточным для практических целей приближением соответствует нормальному закону распределения.

На фиг. 113 показано (сплошной линией) распределение зазоров при обработке деталей $\varnothing 20$ мм по скользящей посадке 2-го класса точности. Зазоры колеблются в пределах от 0 до 36μ ($\sigma = 6\mu$), средний зазор равен 18μ .

Допустим, что после шлифовки на поверхности валов и втулок остались неровности высотой 5μ ; очевидно, что после износа гребешков на половину своей высоты диаметр валов уменьшится, а диаметр отверстий увеличится на 5μ . Размер зазоров вследствие этого увеличится на 10μ , в соответствии с чем кривая распределения сместится на эту же величину вправо. Появится определенное количество сопряжений, у которых зазоры будут выходить за максимальный предел для скользящей посадки.

Количество этих сопряжений характеризуется заштрихованной площадью и равняется

$$Q = 100 [0,5 - 0,5 \Phi(z)] \%,$$



Фиг. 113.

где

$$z = \frac{x_0}{\sigma},$$

$$x_0 = 18 - 10 = 8 \mu.$$

Подставляя, получаем:

$$z = \frac{8}{6} = 1,33; \quad \Phi(z) = 0,8164 \approx 0,82; \quad Q = 100(0,5 - 0,41) = 9\%.$$

Изложенные соображения позволяют прийти к заключению, что бесцельно выдерживать размеры изделий в пределах весьма узких допусков, не обращая внимания на микрогеометрию поверхности. При неудовлетворительном качестве поверхности первоначальная высокая степень точности обработки весьма быстро теряется в процессе эксплуатации.

Для того чтобы полностью исключить возможность после износа неровностей выхода зазоров в отдельных сопряжениях за максимальные пределы, необходимо при изготовлении изделий обеспечить максимальный зазор, меньший максимального конструктивного зазора, допустимого при нормальной эксплуатации изделий. Если обозначим максимальный конструктивный зазор через z_{\max} , максимальный зазор при изготовлении — через z'_{\max} , то очевидно, что

$$z_{\max} = z'_{\max} + (h_{\text{в}} + h_{\text{от}}),$$

где $h_{\text{в}}$ — начальный износ вала,

$h_{\text{от}}$ — начальный износ отверстия.

С другой стороны, как известно, сумма допусков на отверстие $\delta_{\text{от}}$ и на вал $\delta_{\text{в}}$ равна разности между максимальным и минимальным зазорами.

Следовательно, при изготовлении необходимо, чтобы

$$\delta_{\text{от}} + \delta_{\text{в}} = z'_{\max} - z_{\min} = z_{\max} - z_{\min} - (h_{\text{в}} + h_{\text{от}}).$$

Таким образом, чем больше начальный износ, тем при прочих равных условиях должны быть уже допуски на изготовление. Уменьшив начальный износ, т. е. улучшив качество поверхности, можно изготавливать изделия с более широкими допусками.

В точном приборостроении зависимость между точностью обработки и микрогеометрией поверхности имеет особенно существенное значение вследствие незначительной величины допусков на точность обработки.

4. ПРОЧИЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛИ, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ СОСТОЯНИЯ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А. Антикоррозийная стойкость

Атмосферные влияния, газы, жидкости и испарения, воздействию на металлические части, вызывают их коррозию.

Практикой давно установлено, что чем лучше обработана поверхность, тем при прочих равных условиях она меньше поддается коррозии.

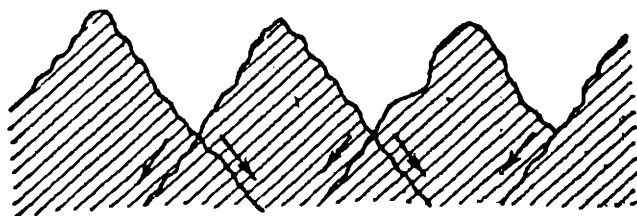
Действие корродирующих веществ, собирающихся на дне впадин неровностей (фиг. 114) поверхности, распространяется в направлениях, указанных стрелками, угол между этими направлениями имеет примерно постоянное значение для данного материала и данного корродирующего вещества.

Под действием коррозии первоначальные выступы неровностей отделяются от основной массы металла. После этого на поверхности металла образуются вторичные неровности, и коррозия начинает распространяться от новых впадин, вследствие чего образуется следующий слой неровностей и т. д.

При трущихся деталях коррозия усиливает их износ.

Финк высказывает мнение, что износ — явление чисто химическое, и что, устранив все причины, вызывающие коррозию поверхности, можно полностью устранить износ.

Хотя согласиться с этим мнением, игнорирующим влияние механических явлений, нельзя, можно считать установленным, что химические явления, возникающие при кор-



Фиг. 114.

розии, чрезвычайно ускоряют процесс износа трущихся деталей.

Применение материалов, не поддающихся коррозии, а также всякого рода защитных покрытий, в ряде случаев невозможно. Следует также иметь в виду, что неудовлетворительное качество механической отделки, предшествующей покрытию, нередко является причиной появления и распространения коррозии даже под слоем гальванического покрытия (см. ниже).

В точном приборостроении сплошь и рядом приходится подвергать тщательной механической отделке поверхности даже со свободными размерами.

Б. Прочность ¹

Микрогеометрия обработанной поверхности и наклеп поверхностного слоя оказывают существенное влияние на прочность деталей, в особенности при переменной нагрузке. Согласно теории Гриффита, разрушение при переменной нагрузке берет начало от мелких поверхностных трещин, размеры которых в конечном счете и обуславливают прочность детали. Эти трещины, риски и т. п. вызывают неравномерное распределение и концентрацию напряжений. Коэффициент концентрации, т. е. отношение появляющихся вследствие концентрации максимальных напряжений к номинальным напряжениям по сечению, достигает, например, по опытам Валя для полукруглого надresa величины, равной трем.

Чем меньше радиус закругления у основания риски, чем она глубже и остроконечнее, тем меньше отношение прочности данной

¹ См. также книгу проф. С е р е н с о н а, Прочность металла и расчет деталей машин, Главн. редакция машиностр. и автотракторн. литературы, 1937.

детали к прочности такой же детали, обладающей гладко отполированной поверхностью.

Концентрация напряжений, создаваемая рисками, надрезами и т. п., имеет тем меньшее значение, чем больше внутренняя неоднородность металла.

Например, для чугуна эта концентрация не имеет почти никакого значения, поскольку она перекрывается концентрацией вследствие структурной неоднородности.

Влияние надрезов сказывается тем сильнее, чем больше временное сопротивление металла. Аналогичным образом сказываются и неровности поверхности, оставшиеся после механической обработки.

В табл. 9 приведены данные об изменении сопротивления усталости при переменной нагрузке в зависимости от характера обработки. За 100% принята величина сопротивления полированного образца.

Таблица 9

Изменение сопротивления усталости для сталей различной крепости при переменной нагрузке в зависимости от характера обработки (в процентах от сопротивления полированного образца)

Характер обработки	Временное сопротивление разрыву стали в кг/мм ²				
	60	80	100	120	140
Полировка	100	100	100	100	100
Шлифовка	91	89	87	86	86
Обдирка	83	82	78	75	72
Катаный материал (без об- дирки)	60	48	40	35	31

Наклеп металла на поверхности при холодной обработке обычно повышает прочность детали. При опытах Тума и Бауда, произведенных со сталью 37 · 11, оказалось, что поверхностный наклеп повышает усталостную прочность на 20—25% при изгибе и на 50% при кручении.

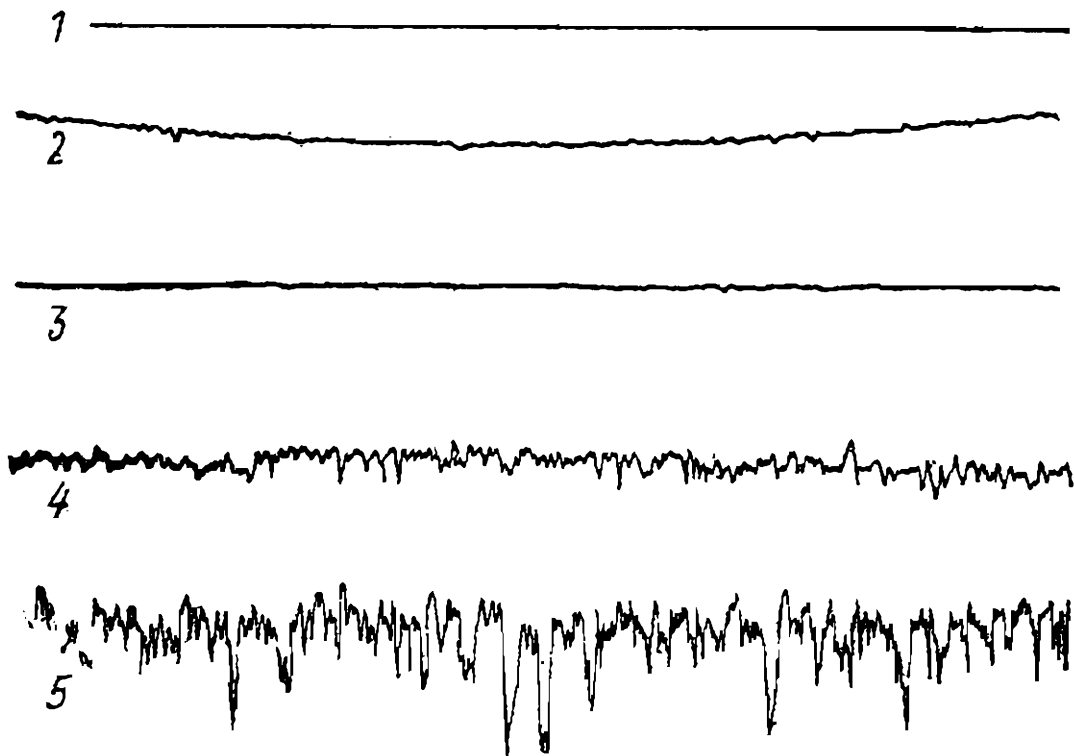
В. Трение

Влияние микрогеометрии поверхности на трение имеет весьма важное значение в точном приборостроении. Усилия, развиваемые в точных приборах основным движущим чувствительным элементом, обычно бывают весьма малыми. Чтобы избежать искажений при передаче этих усилий на указывающую часть приборов, необходимо при изготовлении последних добиться состояния поверхности, обеспечивающего максимальное уменьшение сил трения.

Это требование особенно существенно в случаях, когда приходится изготавливать приборы, в состав которых входят механизмы с большим передаточным числом (например в авиационных приборах, где передаточное число доходит до 500 и выше).

5. МЕТОДЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНТРОЛЯ НЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Не рассматривая существующих в настоящее время различных способов оценки неровностей поверхности, поскольку это не входит в задачи настоящего курса, укажем, что эти способы либо дают изображение профиля поверхности (способы, основанные на разрезании изделия или слепка с него, профилограф, микроскоп Шмальца), либо оценивают качество поверхности на основе одного какого-либо признака (прибор Гаррисона, приборы, основанные на принципе фотоэлемента, прибор Пертена, прибор Рейхеля и др.).



Фиг. 115. Образцы профилограмм.

1—отделка стальной втулки доводкой; 2—отделка такой же втулки шлифованием; 3—отделка доводкой чугунного цилиндра; 4—отделка доводкой другого цилиндра; 5—расточка переносным приспособлением с резцами из тунгстена-карбида.

Способы, относящиеся к первой категории, дают, естественно, более исчерпывающее представление о микрогеометрии поверхности. На фиг. 115 приведены образцы «профилограмм», сделанные с вертикальным увеличением $2000 : 1$ и горизонтальным $30 : 1$.

Чтобы иметь возможность предъявить требования к качеству поверхности и контролировать соблюдение их при изготовлении деталей, необходимо разработать систему показателей, характеризующих качество поверхности. Применяемые в настоящее время условные обозначения чистоты поверхности согласно ОСТ 7540 содержат лишь общую характеристику поверхности и далеко не определяют всех требований в отношении чистоты поверхности.

Вопрос о том, какими показателями следует пользоваться для характеристики чистоты поверхности в производственных условиях, еще не разрешен.

Из предложенных показателей отметим следующие:

1. Средняя суммарная глубина неровностей. Этот показатель не дает правильного представления о качестве поверхности, так как в случае, когда поверхность имеет редкие, но глубокие царапины, она оценивается как менее совершенная, чем поверхность, имеющая значительное количество неглубоких рисок.

2. Три числа, определяющие в микронах такие глубины неровностей, при которых опорная поверхность составляет 25, 75 и 100% (по кривой Аббота). Учитывая возможность случайного образования особенно глубоких царапин и высоких гребешков, за крайние пределы принимаются не 0 и 100%, а соответственно 2 и 98%.

3. Наибольшая высота неровностей H , представляющая собою расстояние между высшей и низшей точками профильной кривой.

4. Средняя высота гребешка h_m . Средняя высота отсчитывается относительно горизонтальной прямой, проведенной через низшую точку кривой, и определяется путем планиметрирования кривой на исследуемом участке.

5. Коэффициент заполнения, представляющий собою отношение средней высоты гребешка к наибольшей, т. е.

$$\frac{h_m}{H}$$

Проф. Шмальц считает, что в большинстве случаев чистоту поверхности можно характеризовать при помощи простейшего из показателей — наибольшей высоты H . При определении этой высоты проф. Шмальц рекомендует руководствоваться следующим правилом:

«В случае, если кривая состоит из отдельных повторяющихся отрезков, более или менее сходных по характеру, следует выделить подряд пять отрезков и в каждом отрезке выбрать высшую точку. По выбранным таким образом пяти точкам проводят на-глаз среднюю горизонтальную линию, характеризующую верхний предел кривой, так же проводят и нижнюю горизонталь. В случае, если кривая не состоит из явно выраженных повторяющихся отрезков, ее можно разбить на участки, соответствующие отрезкам на поверхности длиной в $0,2 \text{ мм}$ »¹.

Средняя высота гребешков h_m определяется путем планиметрирования профильной кривой на выбранном участке; при отсутствии планиметра можно пользоваться стеклянным масштабом с нанесенными на нем делениями (в мм^2). Наложив масштаб на кривую,

¹ S c h m a l t z, Technische Oberflächenkunde.

можно приближенно подсчитать площадь, находящуюся между кривой и осью ординат.

Применяя указанный метод, Г. Шмальц обмерил высоты гребешков H у ряда поверхностей деталей, изготовленных с разной степенью точности, разными технологическими процессами и на разных заводах. В результате этой работы им предложена ориентировочная классификация чистоты поверхностей по наибольшей высоте гребешков H (табл. 10).

К этой классификации Г. Шмальц дает следующие указания:

«Данная классификация пригодна при коэффициенте заполнения 0,4—0,6. При классификации поверхностей с коэффициентом заполнения выше 0,6 чистоту обработки поверхности следует классифицировать на две ступени выше. Поверхности же с коэффициентом заполнения ниже 0,4 классифицируются на две ступени ниже».

Обозначение классов чистоты буквой S соответствует международному обозначению поверхности — surface. Цифра перед буквой S соответствует верхнему пределу высоты гребешка данного класса. Например, $16S$ соответствует классу поверхностей с высотой гребешка H , равной 10—16 μ .

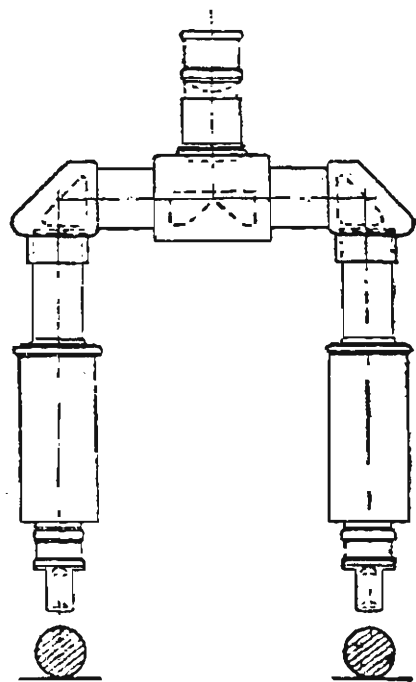
В случаях, когда чистота поверхности не имеет особого значения, предлагается пользоваться упрощенной классификацией. Группы по этой классификации обозначены: SA, SB, SC, SD .

Предлагаемая классификация требует, конечно, дальнейшего уточнения, однако ее можно рассматривать как исходный материал для последующей нормализации чистоты обработки поверхностей.

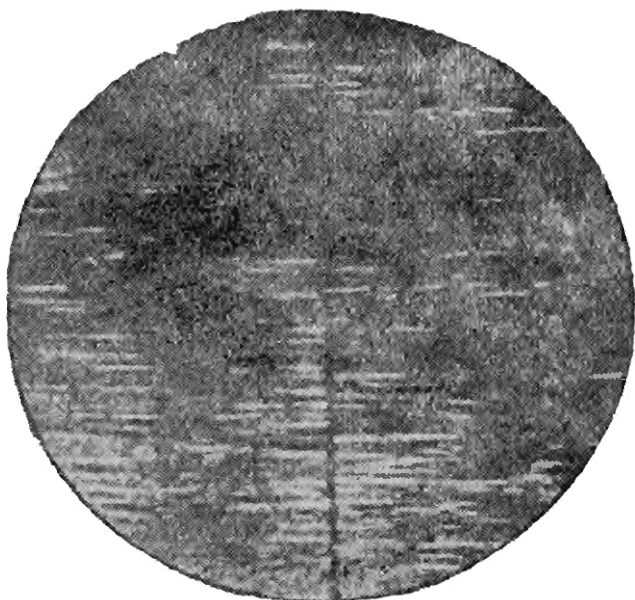
В производственных условиях наиболее простым методом определения и контроля чистоты поверхности является установление соответствующих эталонов. Так, например, фирма Барбер Колман (Barber Colman) установила шесть степеней отделки: F_1 — весьма

гладкая, F_2 — несколько грубее и т. д. (фиг. 116).

Для каждой из степеней отделки были изготовлены соответствующие эталоны. На чертежах деталей наряду с допусками на точность



Фиг. 117. Микроскоп Буша.



Фиг. 118.

изготовления указываются и обозначения (F_1 ; F_2 и т. д.), характеризующие требования в отношении чистоты поверхности. Одновременно эти же обозначения определяют и технологический процесс, обеспечивающий требуемую чистоту поверхности. При приемке готовых деталей контролер сравнивает их с эталонами.

Метод эталонов, не могущий считаться ни строго научным, ни строго объективным, практически является в большинстве случаев вполне приемлемым и устраняет всякого рода недоразумения, возникающие сплошь и рядом между конструктором и технологом или рабочим и контролером.

При высокой чистоте отделки, когда сравнивать детали с эталонами невооруженным глазом трудно, можно пользоваться микроскопом Буша, имеющим два предметных столика и два объектива (схематически изображен на фиг. 117).

Изображения обеих поверхностей — эталона и изделия — проектируются рядом в поле зрения окуляра, что позволяет сравнивать чистоту этих поверхностей (фиг. 118).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1. СЕБЕСТОИМОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

А. Общие положения

При изготовлении детали следует выбрать технологический процесс, обеспечивающий требуемое качество детали и в то же время являющийся наиболее экономичным. Основным критерием экономичности или, как говорят, рентабельности технологического процесса является себестоимость детали.

Расходы, из которых складывается себестоимость детали, можно распределить на две основные категории:

1) текущие расходы, т. е. расходы, повторяющиеся при изготовлении каждой отдельной детали;

2) расходы единовременные, которые производятся один раз на все количество деталей, подлежащих изготовлению, или периодически на определенную партию деталей.

Обозначим:

1) количество деталей, подлежащих изготовлению, через x ;

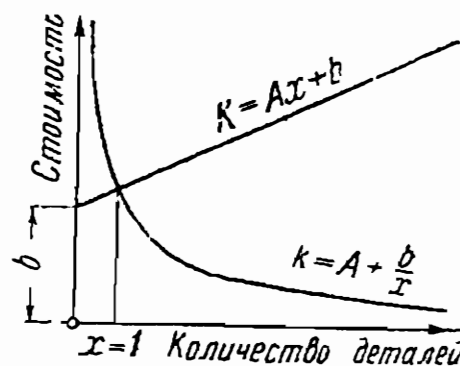
2) сумму текущих расходов на 1 деталь через A ;

3) сумму единовременных расходов на x деталей через b .

Себестоимость одной детали

$$k = A + \frac{b}{x}.$$

Полученное уравнение, представляющее собою гиперболу (фиг. 119), показывает, что при неизменном технологическом процессе себестоимость является функцией от количества изготавливаемых деталей. Не вводя никаких усовершенствований, но и не увеличивая единовременных расходов, можно добиться понижения себестоимости, увеличив количество деталей. Если имеется возможность



Фиг. 119. Зависимость между себестоимостью и количеством изготавливаемых деталей.

изготовить деталь двумя вариантами технологического процесса, сравнить экономичность этих вариантов можно следующим методом.

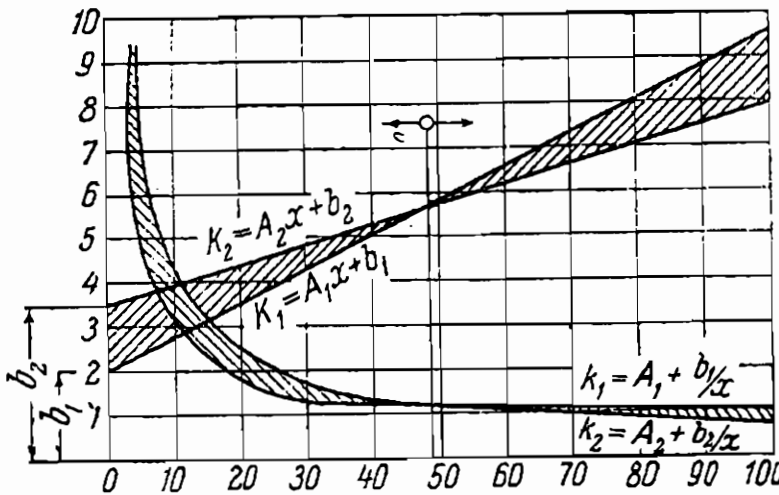
Допустим, что себестоимость одной детали при первом варианте составляет

$$k_1 = A_1 + \frac{b_1}{x};$$

при втором варианте:

$$k_2 = A_2 + \frac{b_2}{x}.$$

Эти уравнения показаны графически на фиг. 120. Точка пересечения кривых характеризует собою то количество изделий, при



Фиг. 120.

котором себестоимости деталей при обоих вариантах равны друг другу. Обозначим это количество деталей $x_{кр}$. Если действительное количество деталей, подлежащих изготовлению, меньше $x_{кр}$, более низкая себестоимость получится при применении первого варианта. Второй вариант обуславливает более низкую себестоимость по сравнению с первым вариантом в случаях,

когда действительное количество деталей превышает $x_{кр}$.

Вместо себестоимостей отдельных деталей можно сравнивать себестоимости всего количества изготавливаемых деталей. Если штучная себестоимость равна k , то общая себестоимость x деталей составляет:

$$K = kx \quad \text{или} \quad K = Ax + b.$$

Полученное уравнение представляет собою прямую линию (фиг. 119). При двух указанных выше вариантах технологического процесса общие себестоимости будут равны:

$$K_1 = A_1x + b_1;$$

$$K_2 = A_2x + b_2.$$

Соответствующие прямые показаны на фиг. 120. В данном случае

$$A_1 > A_2,$$

но

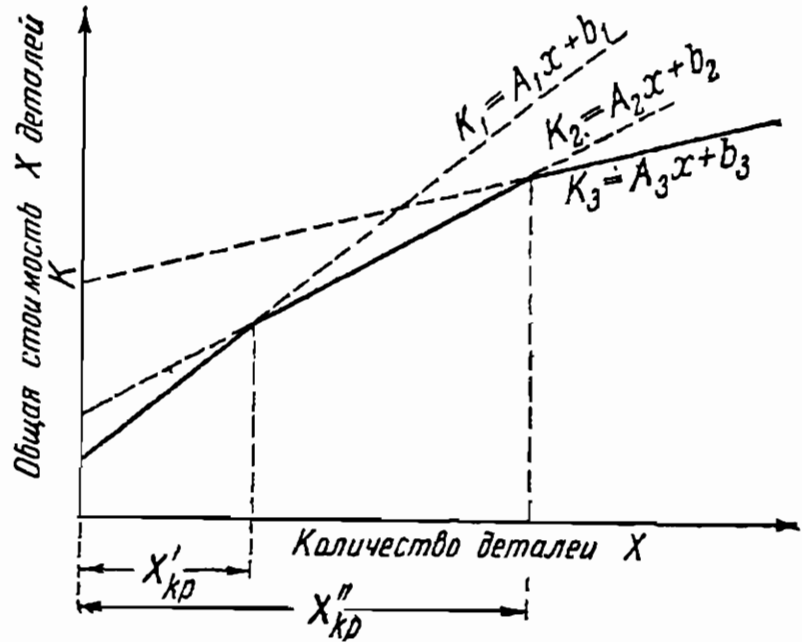
$$b_2 > b_1.$$

Несмотря на более высокие расходы на специальный инструментарий, второй вариант технологического процесса при количестве изготавливаемых изделий $> x_{кр}$ обуславливает более низкую себестоимость детали вследствие более низких расходов на зарплату, а в отдельных случаях и на материал.

Если бы оказалось, что при одном из вариантов технологического процесса оба значения A и b больше или меньше, чем соответствующие значения при другом варианте, то $x_{кр}$ было бы < 0 . Практически это означало бы, что один из вариантов обуславливает меньшую себестоимость, чем другой, независимо от количества изготавливаемых деталей.

При наличии нескольких вариантов технологического процесса можно составить соответствующие уравнения и в зависимости от количества изготавливаемых деталей определить, какой из вариантов является наиболее целесообразным в отношении себестоимости.

Так, например, из фиг. 121 видно, что первый вариант следует применять при количестве деталей от нуля до $x'_{кр}$, второй — свыше $x'_{кр}$ до $x''_{кр}$ и третий — свыше $x''_{кр}$. Чтобы иметь возможность производить указанные сопоставления, необходимо предварительно определить сумму текущих расходов A и единовременных b .



Фиг. 121.

Необходимо учитывать разницу в толковании понятия рентабельности и в технико-экономических условиях, определяющих

содержание рентабельного технологического процесса у нас и в капиталистических странах. Для капиталистических предприятий наиболее рентабельным считается тот технологический процесс, который обеспечивает наименьшую себестоимость изделия на данном отрезке времени и для данного предприятия.

В противоположность этому в условиях советского хозяйства «на рентабельность нельзя смотреть торгашески с точки зрения данной минуты. Рентабельность надо брать с точки зрения общенародного хозяйства в разрезе нескольких лет»¹.

В ряде случаев мы должны пойти на применение и «нерентабельного» с точки зрения капиталистической экономики технологического процесса, если он способствует общему развитию техники производства, облегчает труд рабочего или повышает безопасность работы.

В условиях оборонной промышленности ряд специфических соображений приобретает нередко столь большой удельный вес, что вопрос о себестоимости приходится принимать во внимание лишь во вторую очередь.

¹ Сталин, Вопросы ленинизма, изд. 10, стр. 498.

Учитывая изложенные указания и отказавшись от чисто догматического подхода к решению вопросов, связанных с оценкой экономичности технологического процесса, можно воспользоваться приводимой методикой расчетов.

Б. Текущие расходы

Текущие расходы на одну деталь можно выразить формулой:

$$A = \sum (l + p) + m,$$

где l — заработная плата } на каждую из операций, состав-
 p — накладные расходы } ляющих технологический процесс.
 m — стоимость материала

Зарботная плата на одну операцию $l = \frac{qT_{ш}}{60} = \frac{q}{n}$, где q — часовая зарплата, $T_{ш}$ — норма штучного времени в минуту, а n — часовая производительность в штуках ($n = \frac{60}{T_{ш}}$).

Часовая зарплата зависит от разряда рабочего, который устанавливается в соответствии со сложностью работы. Нормы времени следует рассчитывать для каждой операции отдельно на основании положений, изложенных ниже.

Накладные расходы представляют собою отнесенные к одной операции расходы на амортизацию, ремонт и содержание зданий, оборудования, приспособлений и инструментов общего назначения, содержание административно-технического персонала, подсобной рабочей силы, стоимости электроэнергии и т. д. Не вдаваясь в детальное рассмотрение всех статей, составляющих накладные расходы, отметим, что они должны учитываться по каждому рабочему месту в отдельности. Практикуемый часто метод определения средних по цеху накладных расходов может привести к неверным выводам относительно экономической целесообразности того или иного варианта технологического процесса.

Стоимость материала на одну деталь может быть подсчитана по формуле:

$$m = zw + S(z - v),$$

где z — цена 1 кг материала; w — чистый вес детали; v — цена 1 кг отходов; S — вес отходов.

Преимущество одного варианта технологического процесса по сравнению с другим в отношении стоимости материала может заключаться:

- 1) в применении более дешевого материала;
- 2) в меньшем количестве отходов;
- 3) в получении отходов более высокой стоимости (например, отходы после холодной штамповки будут иметь более высокую цену, если имеется возможность использовать их для штамповки других более мелких деталей).

В отдельных случаях уменьшение стоимости одних элементов вызывает повышение стоимости других, например уменьшение веса отходов может быть получено за счет применения более дорогого металла.

В. Единовременные расходы

К числу единовременных расходов относятся:

- 1) расходы, связанные с подготовительно-заключительным временем (зарплата + накладные расходы);
- 2) расходы на специальное оборудование, специальные приспособления и инструменты.

Подготовительно-заключительным временем называется время, которое затрачивается рабочим на ознакомление с работой, на подготовку и наладку станка, инструмента и приспособлений для обработки заданной партии одинаковых деталей, а также на снятие инструмента и приспособлений по окончании обработки всей партии. Подготовительно-заключительное время рассчитывается на партию, в норму штучного времени не входит и нормируется отдельно.

Общая сумма расходов, связанных с подготовительно-заключительным временем, равняется расходам на одну партию, умноженным на число партий, на которые разбивается изготовление заданного количества деталей¹.

Большую часть подготовительно-заключительного времени занимает наладка (настройка).

Амортизация и ремонт станков, приспособлений и инструментов общего назначения, загружаемых обработкой различных деталей, учитывается в накладных расходах на данное рабочее место.

Стоимости изготовления и ремонта специальных станков, приспособлений и инструментов, штампов, форм и т. д., которые могут быть использованы лишь при обработке данной детали, следует выделить, как соответствующие слагаемые общей суммы единовременных затрат *b*. При определении этих затрат необходимо учитывать, что в зависимости от количества деталей и требуемого темпа выпуска может понадобиться несколько комплектов приспособлений, штампов и т. п. Допустим, что в течение 3 месяцев требуется отштамповать 2 500 000 деталей, причем производительность составляет 10 000 деталей в смену. Если исходить из двухсменной работы, то в один день можно отштамповать не более 20 000 деталей, а в три месяца — 1 500 000 деталей.

Чтобы выполнить заказ в срок, необходимо организовать параллельную работу двух штампов.

Высокая стоимость специальных приспособлений, штампов, форм и т. п. является основным фактором, лимитирующим возможность рентабельного использования в производствах серийного типа высокопроизводительных методов обработки резанием, литья под

¹ Вопрос об определении величины партии рассматривается в курсе «Организация производства».

давлением, штампования и т. п. Основными принципами понижения стоимости специальных приспособлений, штампов и т. д. являются:

- 1) нормализация приспособлений, штампов и т. д.;
- 2) применение приспособлений, предназначенных для обработки нескольких деталей одного типа;
- 3) усовершенствование методов изготовления.

Правильно проведенная нормализация деталей и узлов приспособлений, штампов и т. п. позволяет:

- 1) значительно сократить объем конструкторских и чертежных работ;
- 2) изготавливать нормализованные детали методами серийного производства;
- 3) держать постоянно запас нормализованных деталей на складе.

Нормализация удешевляет стоимость конструирования и изготовления приспособлений, штампов и т. д., а также сокращает срок, необходимый для подготовки производства.

В США нормальные детали приспособлений и даже узлы, в частности силовые (пневматические, электрические и т. п.), предприятиями специально не изготавливаются, а приобретаются готовыми.

На наших приборостроительных заводах в настоящее время практически разрешен лишь вопрос о нормализации штампов. Хотя отдельные предприятия и организации делали попытки нормализовать приспособления, но общих нормалей для приборостроительной промышленности еще не существует.

Применение штампов, форм, приспособлений и т. п., каждое из которых предназначено для обработки нескольких деталей одного типа, особенно целесообразно в мелкосерийном производстве.

Усовершенствовать методы изготовления приспособлений, штампов и т. д. можно в основном двумя путями: 1) путем перехода от методов индивидуального производства на методы серийного производства, что тесно связано с вопросом нормализации; 2) путем применения специального оборудования для изготовления приспособлений, штампов и т. п., а именно, сверлильно-разметочных станков, станков для механической опиловки, копировально-фрезерных автоматов и т. д.

2. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

А. Норма времени

Норма времени является основным фактором, обуславливающим производительность технологического процесса и себестоимость детали, и должна определяться расчетно-аналитическим методом.

По этому методу для каждой операции по запроектированному технологическому процессу устанавливаются наиболее производительный регламент работ и расчет нормы по составным ее частям.

Вследствие этого нормирование следует рассматривать как одну из составных частей разработки технологических процессов. Методика технического нормирования изучается при прохождении настоящего курса. Учитывая, что конкретные данные по техническому

нормированию содержатся в соответствующих нормативных материалах¹, к которым неизбежно приходится прибегать при практической работе, мы считаем возможным ограничиться в настоящей книге лишь основными определениями.

О п е р а ц и е й понимается часть процесса механической обработки, осуществляемая на одном рабочем месте и охватывающая собой все последовательные действия рабочего и станка по обработке одной детали до перехода к обработке следующей детали. Например, центровка валиков, производимая последовательно на обоих торцах одного и того же валика, представляет собою одну операцию. Центровка, производимая сначала на одном торце каждого валика из всей партии, представляют собою одну операцию.

У с т а н о в к о й называется часть операции, выполняемая при одном закреплении детали.

П о з и ц и е й называется каждое из различных положений детали относительно станка при ее постоянном закреплении. Например, при закреплении детали в поворотном приспособлении мы имеем несколько позиций.

П е р е х о д о м называется часть операции, которая характеризуется неизменностью обрабатываемой поверхности, режущего инструмента и режима работы станка. Изменение какого-либо из указанных факторов (инструмента, поверхности обработки, режима работы станка) при неизменности остальных определяет собой новый переход.

П о д п р о х о д о м понимается часть перехода, охватывающая все действия, связанные со снятием одного слоя металла при неизменности инструмента, поверхности обработки и режима работы станка.

П р и е м о м называется законченное действие рабочего, которое характеризуется своим частным целевым назначением и неизменностью (единством) участвующих материальных факторов. Например, рабочий поворачивает револьверную головку.

П о д т е х н и ч е с к о й н о р м о й в р е м е н и следует понимать необходимое в определенных организационно-технических условиях время на обработку изделия в соответствии с эксплуатационными возможностями станка, в условиях применения методов работы, отвечающих современному уровню передовой техники на данном этапе, с учетом передового производственного опыта стахановцев.

Техническая норма времени предусматривает наличие следующих условий:

а) рабочего с соответствующими стажем и навыками, полностью овладевшего техникой производства на данном рабочем месте и работающего с темпом ручной работы, средним между темпом работы стахановцев и рядовых рабочих;

¹ Следует отметить, что изданные до настоящего времени нормативы в точном приборостроении могут быть использованы лишь в ограниченной степени. Равработка подобных нормативов применительно к точному приборостроению является неотложной задачей.

б) наиболее рациональное на данном этапе содержание и взаимопоследовательность основных частей технологического процесса с учетом особенностей наличного оборудования;

в) применение наиболее эффективных в данных условиях инструментов и приспособлений;

г) применение наивыгоднейших режимов работы оборудования (скорость резания, глубина, подача);

д) применение наилучшей в данных условиях организации труда с учетом рационального отделения вспомогательных и подготовительных функций от основных и обслуживание рабочего места всем необходимым для бесперебойной работы;

е) целесообразное совмещение во времени действий рабочего как между собой, так и с автоматической работой станка (перекрытия) и связанное с этим одновременное обслуживание одним рабочим нескольких станков;

ж) рациональное применение одновременной обработки нескольких деталей, одновременной работы несколькими инструментами и т. д.

Норма штучного времени состоит из основного (технологического) времени, вспомогательного времени, времени обслуживания рабочего места и времени на естественные надобности. В норму штучного времени и в норму подготовительно-заключительного времени не должны включаться те элементы, которые могут быть выполнены одновременно с работой станка, т. е. перекрыты машинным временем. При расчете вспомогательного времени особое внимание следует уделить возможным совмещениям во времени отдельных приемов при одновременной работе обеими руками.

Норма штучного времени рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} T_{\text{ш}} &= T_0 + T_{\text{в}} + \alpha T_0 + \beta (T_0 + T_{\text{в}}) + \gamma (T_0 + T_{\text{в}}) = \\ &= T_0 + T_{\text{в}} + \alpha T_0 + (\beta + \gamma) (T_0 + T_{\text{в}}), \end{aligned}$$

где $T_{\text{ш}}$ — норма штучного времени;

T_0 — основное (технологическое) время;

$T_{\text{в}}$ — вспомогательное время;

α — коэффициент, выражающий время технического обслуживания рабочего места;

β — коэффициент, выражающий время организационного обслуживания рабочего места, и

γ — коэффициент, выражающий время на естественные надобности.

Для поддетальной калькуляции норма общего времени на одну штуку определяется из следующего равенства:

$$T = T_{\text{ш}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n},$$

где $T_{\text{п.з}}$ — норма подготовительно-заключительного времени;

n — число штук в партии.

Норма времени на обработку данной партии деталей определяется по следующему уравнению:

$$T_n = n \cdot T_{\text{шт}} + T_{\text{п. з.}}$$

Техническая норма должна рассчитываться на рабочего соответствующей квалификации, на нормальные по заводским нормам припуски на обработку, нормальные по спецификации крепость и твердость материалов, на рациональный технологический процесс, исправный станок, на нормального качества инструмент, уплотненный рабочий день и на своевременное и бесперебойное обслуживание рабочего места всем необходимым для работы.

В норму не должны включаться потери рабочего времени, зависящие от рабочего и не зависящие от него; так, не включается время на немерность материала, на излишние припуски, на ненормальную твердость, на ожидание крана и подсобной рабочей силы и прочие ненормальные условия работы.

В норму не включается также время на брак, какие-либо надбавки времени на всякого рода организационные и технические неполадки, ожидание, простой, поиски, хождение и пр.

Б. Пути повышения производительности

Сокращения основного технологического времени можно добиться путем создания условий, позволяющих работать на повышенных режимах, а именно: применением более прочных зажимов, усилением жесткости детали при помощи опорных частей, усилением жесткости режущего инструмента, улучшением охлаждения, применением инструментов повышенного качества, сокращением длины пути инструмента относительно обрабатываемой детали (или наоборот).

В точном приборостроении возможности существенного повышения производительности путем сокращения основного технологического времени значительно более ограничены, чем в машиностроении. Это объясняется тем, что вследствие малых размеров обрабатываемых поверхностей основное технологическое время составляет в большинстве случаев лишь незначительную часть от общего времени обработки.

Хотя вопрос о повышении режима резания имеет в отдельных случаях актуальное значение и в условиях точного приборостроения, повышение производительности операций механической обработки в точном приборостроении может быть достигнуто преимущественно за счет вспомогательного времени.

Анализ стахановских методов работы позволяет установить основные принципы построения высокопроизводительных операций:

- 1) сокращение времени закрепления и снятия детали;
- 2) сокращение времени установки и снятия инструментов;
- 3) совмещение переходов;
- 4) обработка нескольких деталей с одной установки;
- 5) ускорение холостых ходов;
- 6) перекрытие вспомогательного времени машинным;
- 7) непрерывная обработка (без остановки станка).

Перечисленные принципы подробно рассматриваются ниже применительно к обработке конкретных деталей. В настоящей главе мы считаем необходимым сделать лишь следующее общее замечание принципиального характера. Вплоть до последних лет эти принципы в достаточной степени использовывались лишь в твердо установившихся производствах массового типа. Считалось, что в производствах серийного типа использование этих принципов неэкономично, так как требует применения станков специального назначения, сложных и дорогостоящих приспособлений и т. п. Практика стахановцев, в первую очередь т. Гудова, доказала полную несостоятельность этого воззрения. Большинство из стахановских рекордов было достигнуто на существующем оборудовании общего назначения, при помощи недорогих в большинстве случаев приспособлений и инструментов, полученных нередко путем усовершенствования существующих.

Результаты стахановских методов работы подтвердили необходимость максимального повышения производительности при разработке технологических процессов в серийном производстве, руководствуясь опытом стахановцев и методами, применяемыми в ведущих производствах массового типа (в точном приборостроении к числу таких производств в первую очередь относится часовое производство).

В. Многостаночное обслуживание и автоматизация технологических процессов

Движение за многостаночное обслуживание, возникшее по инициативе стахановцев Станкостроительного завода имени Молотова и Уральского ордена Ленина завода тяжелого машиностроения имени Серго Орджоникидзе, представляет собой новый этап в стахановском движении. Цель этого движения — добиться того, чтобы каждый рабочий обслуживал возможно большее количество станков, обеспечивая максимальную производительность каждого из станков в отдельности. Несмотря на то, что с момента возникновения этого движения прошло немного времени, оно сейчас уже захватило буквально все отрасли промышленности, все типы производств — индивидуальное, серийное и массовое — и все методы обработки — точение, фрезерование, строгание, шлифование и т. д. Например, на заводе «Фрезер» им. Калинина некоторые цехи почти целиком перешли на многостаночную работу, причем один рабочий и один наладчик обслуживают до 40 однотипных станков.

Чтобы новаторам производства — многостаночникам — создать условия, позволяющие полностью использовать огромные резервы повышения производительности труда, необходимо провести ряд мероприятий организационного и технологического порядка. Не касаясь организационных мероприятий (надлежащее размещение станков, планирование работы, организация рабочего места и т. п.)¹,

¹ Эти вопросы рассматриваются в курсе «Организация производства».

отметим основные требования, предъявляемые к технологическим процессам, обуславливаемые многостаночным обслуживанием.

Обслуживание нескольких металлорежущих станков возможно лишь при условии, что машинное время на одном станке больше, чем затрачиваемое рабочим вспомогательное время на другом (нужно также учесть время на переход от одного станка к другому). Это обстоятельство необходимо иметь в виду при разработке технологических процессов в точном приборостроении, где машинное время обработки одной детали весьма невелико.

Основными принципами, применяя которые можно добиться требуемого для многостаночного обслуживания при работе на неавтоматических станках соотношения между машинным и вспомогательным временем, являются:

1) применение быстродействующих зажимных приспособлений как механических, так в особенности и пневматических, гидравлических, электромеханических, электромагнитных и т. д.;

2) автоматизация отдельных элементов управления станком — автоматические остановы, автоматический отвод инструмента, суппорта, револьверной головки и т. п.;

3) обработка нескольких деталей с одной установки.

Последний принцип, лежащий в основе большинства из рекордов т. Гудова, особенно большое значение имеет в точном приборостроении.

Если машинное время, как это сплошь и рядом имеет место, исчисляется в секундах, то осуществить многостаночное обслуживание невозможно. Установив на стол станка сразу несколько деталей, мы машинное время, естественно, удлиним, что позволяет рабочему отлучиться для обслуживания другого станка.

При разработке технологического процесса необходимо учесть, что многостаночное обслуживание расширяет область применения высокопроизводительных методов обработки и приспособлений.

Это положение объясняется следующими причинами. При работе на одном станке мы в ряде случаев вынуждены бываем отказываться от применения высокопроизводительных методов обработки и приспособлений, так как затраты на них не окупаются экономией на зарплате. Рентабельность того или иного метода обработки или приспособления повышается, если оно позволяет перейти от работы на одном станке к многостаночному обслуживанию.

Так, например, на Харьковском станкозаводе им. Молотова звездочка цепи Рейнгольда фрезеровалась раньше дисковой фрезой в делительной головке на горизонтально-фрезерном станке. Рабочий все время должен был находиться у станка.

Звездочку начали обрабатывать, обкатывая ее на зубофрезерном станке Пфаутер специально изготовленной фрезой, благодаря чему зуборезчик получил возможность работать на девяти станках.

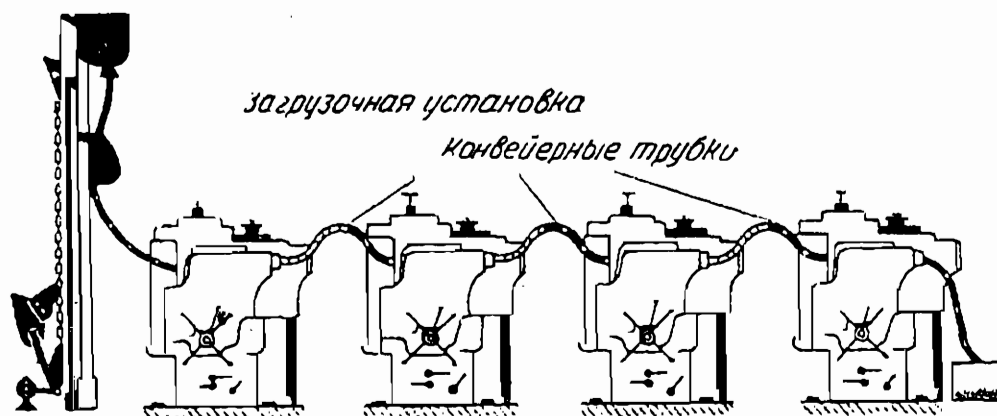
Дальнейшее развитие движения за многостаночное обслуживание связано с автоматизацией технологических процессов.

Здесь имеются два пути:

1) обслуживание одним рабочим группы однотипных станков-автоматов;

2) обслуживание одним рабочим группы станков, в последовательном порядке выполняющих операции по обработке детали, что в массовом производстве приводит к необходимости создания станков-комбайнов или автоматических линий. Отметим основные принципы построения автоматических линий. Полная автоматизация технологического процесса путем создания автоматических линий требует разрешения следующих задач:

- а) автоматизации цикла обработки, включая установку, закрепление и снятие детали;
- б) автоматизации транспортировки деталей от станка к станку,
- в) автоматизации контроля.



Фиг. 122.

Первая задача не является принципиально новой и разрешается путем применения станков-автоматов, работающих из пруткового материала или имеющих магазинные устройства.

В качестве примера стахановской инициативы в автоматизации транспортировки деталей от одного станка к другому приведем устройство, предложенное стахановцем 1-го ГПЗ т. Волковым, применяемое при грубой шлифовке конических роликов на бесцентрово-шлифовальных станках.

Ролики последовательно проходят 4 операции на одинаковых станках (фиг. 122). Тов. Волков учел, что обработанные ролики выталкиваются из барабана станка под большим давлением. Чтобы использовать эту силу давления, т. Волков соединил все четыре станка простыми трубками. По этим трубкам ролики, подталкивая друг друга, автоматически передаются от станка к станку, от одной операции к другой. Раньше каждый станок обслуживался отдельным рабочим; теперь один рабочий может управлять всей установкой, состоящей из четырех станков.

Автоматизация контроля решается различными методами. Наиболее распространены методы, основанные на принципе магнитной дефектоскопии; в отдельных наиболее ответственных случаях детали просвечивают лучами Рентгена или даже радия.

Для автоматизации контроля размеров широко применяются различные электрифицированные приборы (калибр фирмы Хилд,

связанный с электрическим контактом, замыкающимся в нужный момент, миниметры с электроконтактом, фотоэлектрические устройства), а также приборы типа «Соллекс», основанные на электропневматическом принципе. Все эти приборы по достижении заданных размеров обработки дают электрический импульс, воздействующий на цепь электроуправления станка.

Существуют также приборы для автоматического контроля чистоты поверхности.

Можно сказать, что современная техника располагает всеми средствами для полной автоматизации технологических процессов. На ряде зарубежных предприятий существуют автоматизированные поточные линии. Создание таких линий, обеспечивающих в условиях массового производства изготовление сложнейших изделий при наименьшей затрате рабочей силы, является неотложной задачей нашей приборостроительной промышленности.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В большинстве случаев каждую из деталей точного приборостроения можно изготовить несколькими различными методами. Прежде чем приступить к окончательной разработке технологического процесса и его оформлению, необходимо предварительно выявить наиболее рациональный способ изготовления детали.

Следует отметить, что этому вопросу достаточного внимания в большинстве случаев не уделяется. Не всегда с достаточной полнотой учитывается все многообразие методов изготовления, сравнение методов друг с другом нередко носит поверхностный характер, без достаточного критического анализа.

При разработке технологических процессов часто ограничиваются лишь методами, установившимися на данном заводе, не заботясь о внедрении новых, более совершенных, и забывая о кооперировании с другими предприятиями.

Сплошь и рядом имеет место замена одних методов другими (например, литья в землю — литьем под давлением, обработки из пруткового материала — горячей штамповкой и т. п.) уже на ходу производства. Разумеется, нельзя требовать абсолютной стабильности технологического процесса. Параллельно с развитием техники должны изменяться и совершенствоваться и методы изготовления деталей. Однако изменения, обусловливаемые недоучетом того или иного метода, нарушают нормальный ход производства.

Несоответствие конструкции объекта технологическим требованиям в серийном, а особенно в массовом производстве, также усложняет технологический процесс и удорожает стоимость изготовления.

В точном приборостроении каждая деталь должна быть так сконструирована, чтобы при взгляде на чертеж опытному производственнику было ясно, на какой способ изготовления ориентировался конструктор. В большинстве случаев конструктивные условия в точном приборостроении позволяют разработать несколько вариантов оформления конфигурации детали в соответствии с намечаемыми вариантами изготовления.

То же имеет место и в отношении материала, поскольку для большинства деталей точного приборостроения вопрос прочности решающей роли не играет. Это значительно расширяет возможность назначения для конструируемой детали именно того материала, который больше всего подходит для намеченного метода изготовления.

Существенное значение имеет также то обстоятельство, что вследствие малых размеров деталей стоимость материала в ряде случаев также большой роли не играет. Высокая стоимость материала обычно компенсируется сравнительно низкой стоимостью изготовления.

Требования технологического характера учитываются при конструировании приборов, как правило, далеко в недостаточной степени. В основном это происходит потому, что к разработке технологических процессов обычно приступают лишь после получения окончательных чертежей объекта, подлежащего изготовлению. Нередко эти чертежи составляются в особых конструкторских бюро, вне завода. Обеспечить при этих условиях соответствие конструкции детали требованиям технологического характера с учетом производственных возможностей предприятия не представляется возможным. При разработке технологических процессов в большинстве случаев вносятся конструктивные изменения в чертежи объекта.

Эти изменения обычно влекут за собой весьма существенные организационные затруднения и неувязки, в особенности в тех случаях, когда они вызывают необходимость соответствующих изменений и в сопряженных деталях.

Учесть влияние технологических требований на конструкции можно, лишь уже остановившись на определенном методе изготовления детали.

Ответить, например, на вопрос, как следует оформить корпус счетчика — в виде узла, состоящего из нескольких деталей, или в виде одной детали, отливаемой под давлением, можно лишь после разрешения вопроса о том, при каком из указанных вариантов стоимость изготовления окажется более низкой.

После принципиальной разработки конструкции объекта и до окончательного оформления ее необходимо:

- 1) наметить различные варианты конструкций деталей и узлов в зависимости от возможных вариантов технологического процесса;
- 2) выявить наиболее целесообразный вариант технологического процесса в целом;
- 3) оформить конструкцию деталей в соответствии с требованиями, предъявляемыми выбранным технологическим процессом¹.

Нередко конструкторы некомпетентны в вопросах технологического характера². Некоторые предприятия пытаются обойти этот

¹ Конкретные указания по этому вопросу даны во второй части книги.

² Некомпетентность конструктора в вопросах технологического характера в значительной степени обуславливается тем, что для студентов, специализирующихся по конструированию приборов, технология приборостроения рассматривается нередко как дисциплина второстепенного значения.

Вряд ли нужно доказывать неправильность подобного воззрения. Инженер-

недостаток, кооперируя конструктора с технологом. Однако в точном приборостроении вопросы конструктивного и технологического характера переплетаются столь тесно, что подобное мероприятие можно расценивать лишь как паллиатив.

При предварительной разработке технологического процесса полезно пользоваться классификацией методов обработки, предложенной проф. В. М. Кованом. Под классом обработки проф. Кован понимает совокупность методов обработки, обеспечивающих однородность качества обрабатываемой поверхности.

Точность обработки зависит не только от метода обработки, но также и от размеров обрабатываемой поверхности. Применяя один и тот же метод для обработки однородных поверхностей разных размеров, имеем различные отклонения по абсолютной величине, но эти отклонения охватываются часто одним и тем же классом точности. Следовательно, тот или иной метод обработки может обеспечить не только определенное качество обработки, но также и класс точности.

Классифицируя методы обработки, необходимо группировать их таким образом, чтобы каждая группа обеспечивала определенное качество обработки, т. е. чистоту поверхности и точность размеров (класс качества и класс точности).

Классификационные таблицы проф. В. М. Кован строит по видам обрабатываемых поверхностей. Пример такой таблицы приведен в приложении 4.

2. МЕТОДЫ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ И ДИФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ОПЕРАЦИЙ

Технологический процесс для одной и той же детали можно разработать, исходя из двух различных принципов: принципа концентрированных операций и принципа дифференцированных операций.

Технологический процесс, построенный по первому принципу, состоит из небольшого количества сложных операций, выполняемых на сложных станках с широким применением комплектных инструментов.

Технологический процесс, построенный по второму принципу, характеризуется большим количеством элементарных операций, выполняемых на простых станках.

При решении вопроса о том, какой из указанных методов является более целесообразным, нужно исходить из следующих соображений.

1. Каждая новая установка детали влечет за собой добавочные отступления в отношении точности обработки.

приборостроитель именно тем и отличается от инженера-физика, что он умеет не только решать вопросы теоретически-принципиального характера, но и создавать такие конструкции, которые могут быть непосредственно спущены в цех для изготовления их методами серийного и массового характера. Курс «Технология приборостроения» является для конструктора по приборам не менее важным, чем для технолога.

В тех случаях, когда требуется выдержать взаимное расположение обрабатываемых поверхностей, более высокую степень точности обеспечивает обычно метод концентрированных операций. Например, при обработке детали, показанной на фиг. 123, у которой требуется выдержать очень точно расстояние между торцами канавок, их фрезеруют при помощи двухшпиндельного фрезерного приспособления, установленного на токарном автомате¹, в одну операцию с обтачиванием до отрезки детали от прутка.

Чтобы обеспечить параллельность торцовых плоскостей хомутика теодолита и их перпендикулярность оси отверстия, автору пришлось объединить обработку всех этих поверхностей в одну операцию.

В ряде случаев, однако, именно требование точности заставляет отделять чистовую обработку от черновой и, следовательно, увеличивать количество операций.

К этому приходится прибегать в тех случаях, когда:

а) при черновых операциях происходят недопустимые в отношении точности деформации детали под действием зажимного усилия, а при закреплении детали специально для чистовой обработки вследствие незначительной величины стружки можно ограничиться незначительным зажимным усилием;

б) имеются опасения, что внутренние напряжения материала после черновой обработки могут исказить деталь, вследствие чего между черновыми и чистовыми операциями детали подвергаются термообработке или оставляют промежуток времени, достаточный для освобождения от внутренних напряжений.

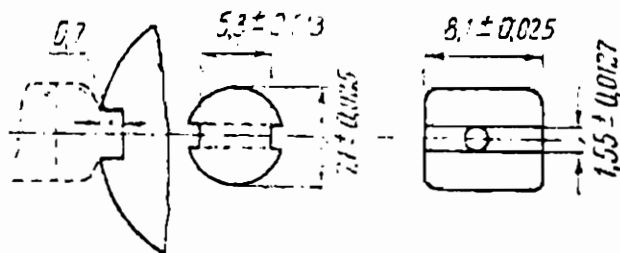
Отделение чистовых операций от черновых целесообразно еще и потому, что это дает возможность поддерживать в надлежащем состоянии оборудование, предназначенное для выполнения точных работ.

2. При работе по методу концентрированных операций требуется значительно более сложное и дорогое оборудование, чем при работе по методу дифференцированных операций.

3. При работе по методу концентрированных операций повышаются и требования к квалификации рабочей силы, преимущественно к квалификации наладчиков, а не исполнителей, поскольку в точном приборостроении работа ведется в основном на настроенных станках.

Более высокая производительность, достигаемая за счет сокращения количества перестановок и одновременной обработки детали несколькими инструментами, является одним из основных преимуществ метода концентрированных операций. С другой стороны, при этом принципе возрастает время, затрачиваемое на настройку

Более высокая производительность, достигаемая за счет сокращения количества перестановок и одновременной обработки детали несколькими инструментами, является одним из основных преимуществ метода концентрированных операций. С другой стороны, при этом принципе возрастает время, затрачиваемое на настройку



Фиг. 123.

¹ Этот метод применяется в США на заводе электроизмерительных приборов фирмы Weston Electrical Instrument Corporation.

станков, в особенности если требуется выдержать несколько взаимосвязанных размеров.

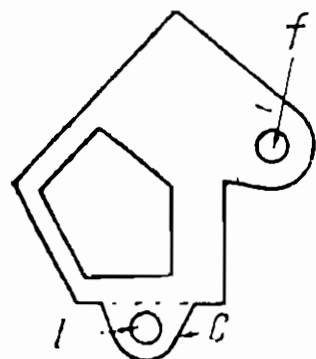
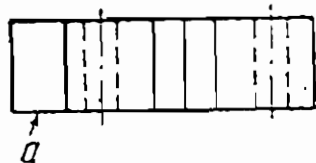
4. При сопоставлении методов дифференцированных и концентрированных операций необходимо учитывать и соображения организационного характера.

В случае построения технологического процесса по принципу концентрированных операций облегчается планирование процесса и сокращается длительность производственного цикла.

5. Одним из преимуществ метода концентрированных операций является сокращение производственных площадей и уменьшение затрат на межоперационный транспорт. Следует отметить, что последнее обстоятельство, весьма важное в машиностроении, в условиях точного приборостроения чаще всего значения не имеет.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ

Одним из основных факторов, обуславливающих последовательность операций, является установка деталей. При закреплении детали на станке (в приспособлении) ее располагают относительно режущего инструмента с упором на установочные поверхности (установочные базы).



Фиг. 124.

При первой операции деталь устанавливают по необработанным поверхностям, при всех последующих операциях — по ранее обработанным поверхностям. При установлении последовательности операций необходимо исходить из того, чтобы для каждой из операций предшествующая обработка обеспечивала получение комбинации поверхностей, которую можно было бы использовать для установки детали. Таких комбинаций может быть весьма много, но наиболее часто встречающимися можно считать:

1) для обработки тела вращения: а) наружная цилиндрическая поверхность и упорная плоскость или торец детали; б) отверстие и упорная плоскость;

2) для фрезерования в приспособлении и сверления в кондукторе: а) плоскость и два отверстия, перпендикулярных данной плоскости; б) плоскость и две перпендикулярные плоскости; в) плоскость, отверстие и упор, предохраняющий деталь от поворота.

Установка детали может не только повлиять на последовательность операций, но и служить причиной включения в технологический процесс дополнительных операций. Подобный пример показан на фиг. 124. Для удобства установки был принят следующий порядок обработки: 1) фрезерование плоскости *a*; 2) сверление и развертывание отверстий *f* и *l*, перпендикулярных плоскости *a*.

При всех дальнейших операциях деталь устанавливали отверстиями *f* и *l* на штифты и опирали на плоскость *a*. Прилив *c* и отверстие *l* по конструкции детали не нужны, и по миновании надобности

в отверстия l как установочной базе прилив c отрезали. Развертывание отверстия f также обуславливалось лишь стремлением получить требуемую точность установки.

Из других соображений, которыми следует руководствоваться при установлении последовательности, отметим следующие:

1. Отделочные операции (чистовое обтачивание, развертывание, шлифование и пр.) следует относить к концу процесса обработки.

2. Операции, при которых имеется вероятность большого процента брака, по возможности следует осуществлять вначале.

3. Сверление отверстий следует относить к концу технологического процесса, за исключением тех случаев, когда сверлятся отверстия, служащие базами для установки при последующих операциях.

4. В предприятиях, где цехи организованы по принципу обработки (например фрезерный цех, токарный и т. д.) во избежание излишней транспортировки деталей следует стремиться группировать одинаковые операции (например сначала все токарные операции, затем все фрезерные и т. д.).

4. ВЫБОР СТАНКА

Технологи, не обладающие достаточным опытом или не учитывающие всех обстоятельств, обуславливающих правильное разрешение вопроса в условиях серийного производства, обычно стремятся назначать наиболее совершенные и дорогостоящие модели универсального типа. Это приводит к тому, что прекрасно с внешней стороны оборудованное предприятие нередко не в состоянии полностью использовать своих станков. Произведенные на приобретение их затраты в ряде случаев являются неоправданными, потому что данные работы можно было бы выполнять с тем же успехом и на более простом и дешевом оборудовании. Назначение излишне дорогого оборудования имеет следствием не только более высокие расходы на обзаведение, содержание и амортизацию, но требует и рабочей силы более высокой квалификации для управления сложными механизмами универсальных станков.

Выбор станка, строго соответствующего производимым на нем операциям, имеет первостепенное значение. Основными моментами, на которые следует ориентироваться при разрешении указанного вопроса, являются: а) конструктивные особенности станка, б) точность, в) мощность.

Следует выбрать станок, обладающий устройствами, которые являются действительно необходимыми для осуществления намеченной операции. Например, если в заданную операцию не включается нарезка резьбы, незачем брать станок с самоходным винтом; если не приходится обтачивать значительных торцевых поверхностей, то не нужен поперечный самоход и т. д. Нередко приходится наблюдать, что операцию, требующую 3—4 инструментов, выполняют на питтлеровском револьверном станке, причем 10—12 отверстий в револьверной головке остаются пустыми. Плоские поверхности, которые можно обработать на простом фрезерном станке, нередко обрабатывают на универсальном.

—если известны материал изделия, размеры заготовки и содержание операции, всегда можно установить соответствующий режим работы, сведя до минимума количество различных скоростей и подач.

Чем более высоким требованиям точности должен удовлетворять станок, тем он дороже. Между тем нередко можно наблюдать, что весьма неответственные по точности работы выполняются на высокопрецизионном станке, что вызывает излишние затраты.

Излишне массивные станки требуют больших производственных площадей, более тяжелых перекрытий; неполная загрузка мотора понижает его к. п. д.

Основные требования, которыми следует руководствоваться при назначении модели станка, сводятся к следующему:

а) станок должен быть простым, позволяющим осуществлять лишь те переходы и при тех скоростях резания и подачах, которые являются необходимыми для выполнения операции, намеченной в соответствии с разработкой технологических процессов;

б) точность станка должна соответствовать точности выполняемой работы;

в) станок не должен быть слишком массивным; размеры его должны выбираться в соответствии с действительными усилиями и потребляемой энергией.

Массивный станок со сложными коробками скоростей и подач, с копиром, поворотным столом и т. п. мало подходит для серийных и в особенности массовых производств.

В тех случаях, когда масштаб производства не позволяет полностью загрузить станок выполнением одной операции, можно значительно понизить степень универсальности оборудования путем планирования на один станок нескольких однородных операций.

В серийном производстве наиболее целесообразно применять станок не универсальный, а приспособленный для осуществления определенной намеченной разработкой технологического процесса операции или группы их. Однако если имеются основания предполагать, что изменится характер производства или конструкция обрабатываемой детали, приходится отступать от указанного принципа и назначать станок универсального типа.

Если станок полностью загружается выполнением одной лишь операции, можно заказать специально для данной операции сконструированный станок или воспользоваться оборудованием стандартного типа.

Ряд заводов, в частности Цейсса, организует у себя в качестве подсобного предприятия целые заводы для изготовления станков специального назначения. Завод швеймашин в Подольске имеет много специальных станков, сконструированных и изготовленных самим заводом. Другие предприятия заказывают специальное оборудование станкостроительным фирмам.

Широкое применение станков специального типа ограничивается следующими обстоятельствами.

1. Изготовление станка надлежащего качества достигается в результате весьма большого количества исследовательских работ и накопления опыта в процессе постепенного улучшения ряда моделей однородного типа. Естественно, что при изготовлении станков специального назначения, обладающих в каждом отдельном случае различными конструкциями, трудно гарантировать надлежащее качество.

2. Более низкая стоимость станков стандартного типа достигается за счет их изготовления методами крупносерийного производства. При заказе специальных станков, количество которых обычно ограничивается единицами, стоимость их бывает весьма высока, во много раз больше, чем стандартных станков.

Существующий ассортимент станков позволяет избрать для каждой из намеченных операций стандартного типа станок, полностью удовлетворяющий указанным выше требованиям.

Лишь в условиях стабильного крупносерийного или массового производства может оказаться более целесообразным применение специального станка (например в часовом производстве).

В крупносерийном и даже массовом производстве в ряде случаев целесообразно, подобрав наиболее подходящий станок стандартного типа, путем соответствующих изменений и добавлений отдельных частей приспособить его к выполнению только одной операции, превратив его, таким образом, в станок специального назначения.

Приобретая новое оборудование, пользуются каталогами станкостроительных фирм, выбирая модель, наиболее соответствующую типу и размерам, установленным на основе изложенных выше соображений.

Ограничиваться данными каталогов при приобретении нового оборудования, в особенности импортного, недостаточно. Необходимо знать характеристику станка в качественном отношении, а также иметь данные о точности станка, которые следует требовать непосредственно от фирм при получении от них соответствующего предложения.

Наметив определенную модель (или несколько моделей различных фирм), желательно предварительно затребовать у фирмы предложения с более детальными указаниями конструкции станка, данными о точности и сведениями о стоимости.

При сложных операциях, в особенности выполняемых на автоматах, весьма целесообразно запросить у фирмы рекомендуемый ею порядок осуществления на данном станке намеченной обработки.

При приобретении ряда станков желательно по возможности уменьшить количество различных моделей. Чем меньше различных моделей, тем легче перебрасывать работу с одного станка на другой, тем меньше затруднений при переводе рабочих со станка на станок, проще осуществлять наблюдения за станками, их испытание и наладку.

Весьма существенную роль играет загрузка станка. Если отношение нагрузки на станок в часах работы в год к общему фонду рабочих часов станка в год слишком мало, это обстоятельство может

заставить отказаться от приобретения станка, наиболее подходящего в техническом отношении.

Особенно важное значение имеет это обстоятельство в массовом производстве, где вследствие недостаточной загрузки станка и сложности или невозможности его догрузки обработкой других деталей приходится иногда заменять намеченный станок другим, также удовлетворяющим требованиям в отношении качества обработки, но менее совершенным и более дешевым.

В серийном производстве решить вопрос о целесообразности приобретения станка можно, лишь имея данные о его полной загрузке не только данной деталью, но и всеми прочими. Загрузку станка необходимо учитывать также и при назначении станка из имеющегося оборудования. В противном случае может оказаться, что намеченный при разработке технологического процесса станок не может быть практически использован, так как он загружен другими работами.

5. ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Чтобы иметь возможность установить и разработать наиболее целесообразный технологический процесс, нужно разработать все возможные варианты, пронормировать их, определить затраты на инструменты, приспособления, зарплату и т. д. и провести соответствующие расчеты.

Проведение на производстве в каждом отдельном случае подобной работы в полном объеме является делом весьма сложным вследствие многообразия методов механической обработки и их возможных сочетаний.

Поэтому при разработке технологических процессов руководствуются в первую очередь соображениями практического характера, основанными на накопленном производственном опыте и на подражании существующим технологическим процессам для аналогичных изделий. Сплошь и рядом бывает, что одинаковые детали и в одинаковых по существу производственных условиях на разных предприятиях изготавливаются по-разному.

Основным мероприятием, устраняющим указанные недостатки и обеспечивающим внедрение в промышленность наиболее совершенных технологических процессов, является типизация технологических процессов. Идея типизации была развита проф. А. П. Соколовским и поддержана технической общественностью машиностроительной промышленности.

Приведем вкратце основные из разработанных проф. А. П. Соколовским положений по вопросу о типизации технологических процессов¹.

Все детали, встречающиеся в машиностроении², разбиваются

¹ Подробно см. проф. А. П. Соколовский, Проблема типизации технологических процессов.

² Идея типизации разработана проф. А. П. Соколовским применительно к машиностроению, но все основные положения могут быть использованы и в приборостроении.

на классы. Классом называется совокупность деталей, характеризующая общностью основных технологических задач, решаемых для деталей определенной конфигурации. Детали одного класса имеют сходную конфигурацию — обрабатываемые поверхности одного характера при сходном взаимном расположении. В приложении 5 приведена предлагаемая проф. А. П. Соколовским классификация деталей машин.

Разбивая детали внутри каждого класса на группы, а каждую группу на еще более мелкие группы и т. д., мы будем получать все большее и большее сближение технологических процессов для деталей в пределах одной группы. Наконец, мы придем к типу. Под типом подразумевается совокупность деталей одного класса, имеющих в условиях одинаковой производственной обстановки общий план обработки основных поверхностей, т. е. проходящих однородные операции. Однако принадлежность детали к определенному типу еще не означает тождественности всех переходов. Детали одного типа имеют одинаковую номенклатуру и план операций, но эти операции выполняются различными методами. Для всех типов разрабатываются технологические процессы, фиксирующиеся в картах типового технологического процесса. Такие карты должны быть составлены для каждого типа в нескольких вариантах, соответствующих различной серийности производства, различным формам заготовки, разным материалам и т. д. В карте дается: а) перечень операций; б) краткое описание обработки, входящей в каждую установку; в) указания о выборе оборудования; г) описание установки с ссылкой на соответствующие инструкции; д) описание метода выполнения операции с ссылкой на инструкции; е) описание методов измерения с указанием инструкций.

Если бы мы располагали подобными картами для всех могущих встретиться типов, то это позволило бы полностью изменить всю методику разработки технологических процессов. Приступая к разработке технологического процесса для какой-либо новой детали, мы прежде всего устанавливаем, к какому типу она относится. Этим сразу же определяется принципиальное содержание соответствующего технологического процесса. Особо следует отметить, что указанная задача решается не только несравненно быстрее и с несравненно меньшей затратой труда, чем при обычных условиях, но и гораздо надежнее, так как карты типового технологического процесса разрабатываются весьма тщательно на базе передовой технологии и стахановских достижений, с проведением всех необходимых сопоставлений и расчетов. Такая разработка технологического процесса для каждой детали в отдельности в обычных производственных условиях не представляется возможной.

Проведение типизации технологических процессов — одна из неотложных задач точного приборостроения.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЩИХ ДЕТАЛЕЙ
ТОЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Процесс изготовления детали разбивается на три основных этапа: 1) заготовка; 2) механическая обработка; 3) покрытие¹.

Настоящая часть состоит из трех глав, посвященных соответственно каждому из указанных этапов². Сведения, содержащиеся в первой и третьей главах, даются в общем виде, а во второй главе — применительно к основным классам, объединяющим общие детали точного приборостроения. Это объясняется тем, что курс посвящен в основном вопросам механической обработки, и тем, что технология методов заготовки и покрытия в значительно меньшей степени обуславливается конфигурацией детали, чем технология механической обработки.

¹ Разумеется, все эти три стадии вовсе не являются обязательными при изготовлении каждой детали. В ряде случаев детали, отлитые под давлением, штампованные и т. д. поступают в сборку, минуя механическую обработку. При вытачивании деталей из прутка отпадает стадия заготовки. Далеко не все детали подвергаются покрытиям.

² Вопросы термообработки мы не затрагиваем, так как это не входит в задачи настоящего курса.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЗАГОТОВКА

1. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ

В машиностроении заготовки в большинстве случаев представляют собой поковки, отливки или получаются из сортового материала. Основной и наиболее трудоемкой частью технологического процесса является обычно механическая обработка.

Свободная ковка в точном приборостроении почти не применяется. Небольшое применение имеет также литье черных металлов. Сортовые материалы (чаще всего круглого сечения) применяются преимущественно для изготовления деталей из прутков на револьверных станках и автоматах.

Небольшие размеры и вес деталей точного приборостроения, повышенные требования к точности, невысокие требования в отношении прочности и возможность в связи с этим применения металла, наиболее подходящего по своим свойствам для намечаемого метода изготовления, серийный или массовый характер производства—являются причиной того, что в точном приборостроении пользуются преимущественно методами заготовки, имеющими в машиностроении сравнительно невысокий удельный вес. К числу этих методов относятся в первую очередь литье под давлением, штампование листового материала и прессование пластмасс.

Преимуществами указанных методов по сравнению с применяемыми в машиностроении являются:

- 1) высокая производительность;
- 2) высокая степень точности, сокращающая, а в отдельных случаях и полностью исключая необходимость в дальнейшей механической обработке;
- 3) сокращение расхода материала;
- 4) возможность обходиться рабочими низкой квалификации;
- 5) сокращение производственных площадей;
- 6) низкая стоимость изготовления (при достаточном количестве деталей);
- 7) минимальный процент брака.

Вследствие этих преимуществ применение литья под давлением, штампования и прессования пластмасс на наших приборостроительных заводах за последние годы непрерывно расширяется.

Детали, изготавливавшиеся вплоть до последнего времени обработкой резанием заготовок из сортового материала, отливок в землю или поковок, почти на всех передовых предприятиях точного приборостроения стремятся перевести на литье под давлением, штампование или прессование. Наряду с указанными выше преимуществами применение этих методов требует крупных затрат на изготовление штампов, форм и т. п.

При решении вопроса о том, какой из методов является наиболее целесообразным, нельзя ограничиться лишь сопоставлением этих методов. Предварительно надо наметить и сопоставить друг с другом основанные на каждом из этих методов варианты технологического процесса в целом с учетом последующей обработки.

Для суждения об экономической целесообразности какого-либо из указанных методов в большинстве случаев нет необходимости прибегать к детальным калькуляциям. Решить вопрос о том, является ли данный метод в том или ином конкретном случае наиболее экономичным, обычно представляется возможным при помощи ориентировочных расчетов, основанных на средних данных о производительности, стоимости штампов или форм и т. п.

Ниже приведены подобные данные по литью под давлением, штампованию из листового материала и прессованию пластмасс. Не следует, однако, упускать из виду того, что эти данные в основном являются приближенными.

А. Литье под давлением

Основными преимуществами литья под давлением по сравнению с литьем в землю являются следующие:

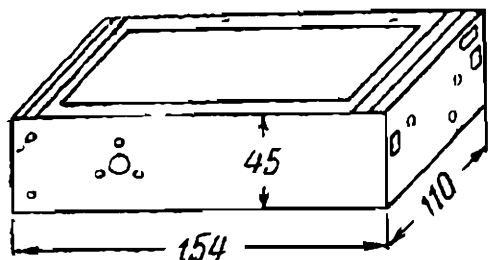
- 1) высокая производительность;
- 2) высокая степень точности (табл. 12), почти полностью исключая в большинстве случаев необходимость дальнейшей механической обработки;
- 3) высокие механические свойства сплавов, отлитых под давлением, по сравнению с механическими свойствами таких же сплавов, отлитых другими способами (табл. 11);

Таблица 11

Сравнение механических свойств сплавов, отлитых различными способами

Сплав	Отливка под давлением			Отливка в кокили			Отливка в песок		
	σ_b кг/мм ²	i %	H_B	σ_b кг/мм ²	i %	H_B	σ_b кг/мм ²	i %	H_B
Силумин . . .	20—25	1—2	84	18—22	2—6	65	17—19	4—7	60
Алюминий с 10% меди . .	20—22	1,5—2,2	66	14—17	0,5—1,0	66	12—15	1—2	60
Электрон . . .	19—20	1—1,5	—	17—18	1,5—2,5	65	14—16	1—1,5	64

4) экономия в расходе материала, так как отпадает необходимость в припусках на обработку, а большая прочность металла позволяет конструировать изделия с более тонкими стенками;



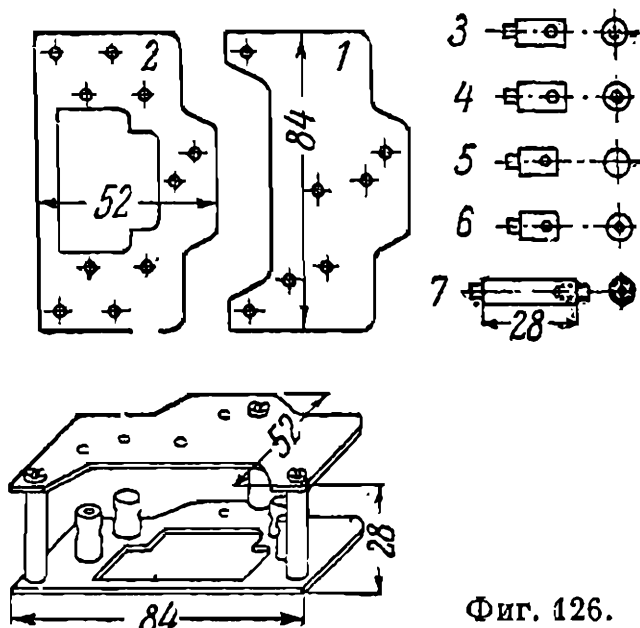
Фиг. 125.

5) возможность заливки частей из другого металла в тех случаях, когда отдельные части детали должны обладать свойствами, отличными от свойств сплава, из которого отлита деталь. Так, например, крест теодолита изготовлялся прежде из латуни отливкой в землю с дальнейшей механической обработкой. В настоя-

щее время этот крест изготовляется из алюминия литьем под давлением с заливкой в него латунной втулки.

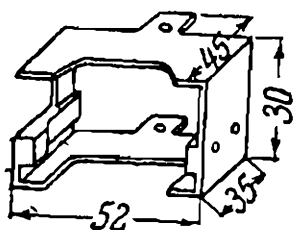
Отливать под давлением целесообразно детали сложной конфигурации, требующие при других способах их изготовления длительной и многооперационной механической обработки.

На фиг. 125 показан корпус фотоаппарата, изготовляемый на заводе ГОМЗ из алюминиевого сплава литьем под давлением, благодаря чему удалось сократить 33 механические операции.



Фиг. 126.

Исключительно большое значение имеет то обстоятельство, что литье под давлением позволяет заменять целые узлы, состоящие из нескольких деталей, одной деталью, отливаемой под давлением.



Фиг. 127.

Например, корпус счетчика прежде представлял собою узел, собиравшийся из отдельных деталей (фиг. 126). В настоящее время он отливается под давлением, как одна деталь (фиг. 127).

Литье под давлением за последние годы произвело переворот в производстве и конструировании объектов точного приборостроения.

Т о ч н о с т ь

Неточности отливок под давлением вызываются: 1) неточностями изготовления формы; 2) расширением формы вследствие ее нагрева при работе; 3) усадкой отливки; 4) износом формы; 5) неточностями взаимного расположения подвижных частей формы в процессе литья; 6) последующими деформациями отливок.

Расширение формы вследствие нагрева и усадки, кроме изменений размеров, вызывают при неравномерной толщине стенок или наличии отдельных скоплений металла также и искажения в конфигурации отливки.

Погрешности, зависящие от взаимного расположения подвижных частей, имеют весьма существенное значение. Неизбежные (в особенности при тугоплавких металлах) зазоры в направляющих, износ, а также неравномерный нагрев форм нарушают правильность взаимного расположения подвижных частей.

Колебания размеров (в направлении, перпендикулярном поверхности разъема) вызываются также застреванием заусенцев и затвердевших частиц смазывающих веществ на поверхностях разъема формы.

Вследствие изложенных причин:

а) размеры отливки, образуемые неподвижными частями формы, получаются более точными, чем размеры, образуемые подвижными частями формы;

б) суммарный размер, заключающийся между двумя частями формы, получается менее точным, чем размер, заключающийся в одной части формы;

в) размеры, заключающиеся между двумя частями формы, в направлении, перпендикулярном плоскости разъема, получаются

Таблица 12

Точность отливок под давлением

Группы сплавов	Минимальные допуски				
	Размеры, заключающиеся в одной части формы			Размеры, заключающиеся между двумя частями формы	
	в неподвижных частях формы		в подвижных частях формы	параллельно разъему формы	перпендикулярно разъему формы
	в % от размера	не менее мм	не менее мм	не менее мм	не менее мм
Оловянные . . .	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	+ 0,03 - 0,01
Свинцовые . . .	$\pm 0,10$	$\pm 0,02$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	+ 0,07 - 0,02
Цинковые . . .	$\pm 0,15$	$\pm 0,03$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	+ 0,08 - 0,03
Магниевые . . .	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,08$	$\pm 0,08$	+ 0,12 - 0,05
Алюминиевые .	$\pm 0,20$	$\pm 0,05$	$\pm 0,08$	$\pm 0,08$	+ 0,10 - 0,05
Медные	$\pm 0,30$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	+ 0,15 - 0,05
Черные металлы . . .	$\pm 0,50$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	+ 0,15 - 0,05

менее точными, чем размеры в направлении, параллельном плоскости разъема.

Точность отливок под давлением тем ниже, чем выше температура плавления сплава и чем больше термический коэффициент его расширения. Максимальная точность отливок получается при применении оловянистых сплавов. При тугоплавких сплавах она в 3—5 раз ниже.

Допуски, которые выдерживаются при литье под давлением, без учета последующих деформаций, указаны в табл. 12.

Устранения последующих деформаций отливок добиваются, применяя сплав надлежащего состава и правильно оформляя конфигурацию отливки.

Экономичность

Чтобы судить об экономичности литья под давлением, необходимо прежде всего выявить потребность в последующей механической обработке деталей после отливки под давлением. Чем больше объем операций механической обработки, тем менее целесообразно применение литья под давлением.

Механическая обработка отливок в основном заключается в отрезке литников и зачистке заусенцев; в чистовой обработке поверхностей, размеры которых должны быть выдержаны особенно точно; в обработке элементов детали, которые невозможно или экономически невыгодно отливать под давлением.

Отрезка литников и зачистка заусенцев является неизбежной операцией при всех отливках под давлением, но стоимость ее существенного значения не имеет.

Для повышения точности приходится подвергать механической обработке те из поверхностей отливки, размеры которых ограничены допусками более узкими, чем указанные в табл. 12.

Отлитые под давлением детали иногда приходится подвергать дополнительным операциям, главным образом: сверлению отверстий, нарезанию, устранению конусности и обработке поднутрений.

Сверлить следует отверстия меньшие по диаметру и большие по глубине, чем приведенные в табл. 13.

Это объясняется тем, что сплав, проходя в форму со скоростью 20—80 м/сек, может согнуть или даже поломать стержни, при помощи которых образуются отверстия. Прочность этих стержней тем меньше, чем меньше их диаметр и чем больше их длина. Стержни для проходных отверстий, имеющие две опоры, более прочны, чем стержни для непроходных отверстий, у которых один конец остается свободным.

После затвердевания сплава и его усадки стержни зажимаются в отливке, а при снятии отливок они испытывают напряжения на разрыв, что также ограничивает минимальный диаметр отливаемых отверстий.

Отверстия более мелкие, чем это указано в табл. 13, целесообразно получать путем отливки лишь в тех случаях, когда сверлить их весьма трудно (фиг. 128).

Предельные размеры отверстий и резьб в мм

Сплавы	Предельные размеры отверстий				Предельные размеры резьб			
	минимальный диаметр		максимальная глубина		минимальный шаг	минимальный диаметр		
	практически применяемый	возможный	непроходные	проходные		наружный	внутренний	
							практически применяемый	технически возможный
Оловянные	1,0	0,5	3	10	0,8	5	10	5
Свинцовые	1,0	0,75	3	10	0,9	5	10	5
Цинковые	1,5	1,0	3	6	1,0	8	15	10
Магниевые	2,0	1,5	3	4	1,25	12	—	50
Алюминиевые	2,5	1,5	3	4	1,25	12	—	—
Медные	5,0	2,5	3	4	1,5	12	—	—
Черные металлы	3,0	2,0	3	4	1,5	12	—	—

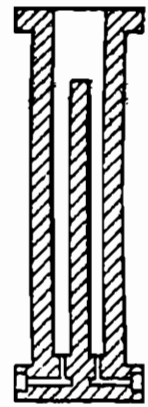
Необходимость механической обработки резьбы вызывается следующими обстоятельствами. Наружная резьба может быть получена либо в замкнутых, либо в разъемных частях формы. В первом случае, когда изделие освобождается из формы путем отвинчивания, резьба получается весьма чистой, без заусенцев и царапин, любого профиля.

Этот способ, однако, является малопродуктивным.

При получении резьбы в разъемных формах приходится удалять след разреза, остающийся вдоль нарезки.

Внутренняя резьба получается обычно при помощи вывинчиваемых стержней. Этот способ применим лишь при легкоплавких сплавах, так как при сплавах тугоплавких и с большой усадкой пришлось бы для вывинчивания стержней прилагать слишком большие усилия. В тугоплавких сплавах целесообразнее получать при отливке гладкие отверстия и нарезать их механически. В отдельных случаях можно при диаметрах выше 50 мм получать резьбу у отливок из тугоплавких сплавов при помощи составных стержней. Чаще всего, однако, этот способ не является экономичным. Минимальные размеры, ниже которых резьбу следует обрабатывать механически, указаны в табл. 13.

Конусность отливок, облегчающая вынимание их из формы, в ряде случаев не может быть допущена по конструктивным усло-



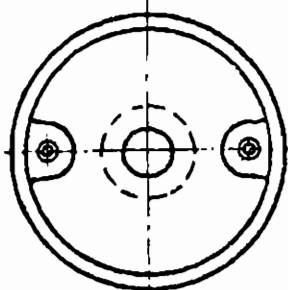
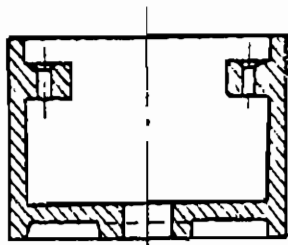
Фиг. 128.

¹ Отливка выполняется с помощью составных стержней.

виям. Получение таких деталей в законченном виде непосредственно из формы бывает обычно сопряжено с быстрым износом формы и повышенным процентом брака.

Более целесообразно отливать подобные детали с конусностью, устраняя ее дальнейшей механической обработкой.

Получение отливкой под давлением всякого рода поднутренней часто сопряжено с необходимостью применения сложных форм и понижением производительности (подробнее об этом см. стр. 173 — 174). В ряде случаев более целесообразно обрабатывать эти поднутрения механически.



Фиг. 129.

Так, например, при изготовлении детали, показанной на фиг. 129, можно сначала отлить ее так, как указано на фиг. 130, а излишек металла удалить растачиванием.

При проведении ориентировочных расчетов для сопоставления литья под давлением с другими методами изготовления в большинстве случаев можно исходить из средних данных, характеризующих производительность литья под давлением, стойкость форм, затраты на их изготовление и ремонт.

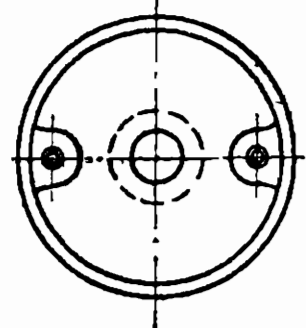
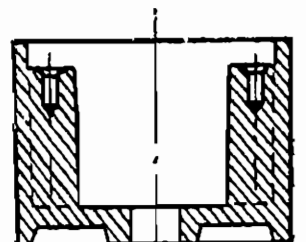
Основными факторами, влияющими на величину этих данных, являются: 1) сложность отливки; 2) требуемая точность; 3) материал детали; 4) размеры детали; 5) тип машины.

В табл. 14 на стр. 144 приведены средние данные по литью под давлением, разработанные, по предложению автора, главным инженером литейного отдела завода «Изолит» (Москва) Г. Г. Пудикиным.

Данные табл. 14 относятся к деталям с габаритными размерами в пределах 40 — 100 мм. Точность отливок принята средней в соответствии со сплавом и сложностью. Данные разбиты на классы сложности в зависимости от конфигурации отливок и сложности литейной формы.

Факторами, обуславливающими отнесение детали к более высокому классу сложности, являются сложность конфигурации детали, наличие резких переходов, резьбы, наличие стержней, их количество, расположение и направление, наличие и количество отъемных кусков в форме, наличие вставок, вынимаемых из отливки после освобождения ее из формы.

Для цинковых и алюминиевых сплавов установлены четыре класса сложности, для медных — два, что объясняется меньшим разнообразием в конфигурации деталей, отливаемых под давлением из медных сплавов, вследствие большей технологической сложности. Это явление следует, несомненно, рассматривать как



Фиг. 130.

временное, и надо полагать, что в недалеком будущем число классов сложности для отливок из медных сплавов придется расширить.

Производительность литья под давлением равняется числу ударов в час, умноженному на число гнезд в форме. При отливке мелких деталей в одной форме обычно располагается от двух до шести гнезд. Число ударов зависит от детали (ее размеров, конфигурации и сплава) и от типа машины. Производительность поршневых машин ниже, чем производительность компрессорных машин. Основным фактором, обуславливающим пониженную производительность поршневых машин, является подача вручную жидкого металла из печи в машину на каждую заливку. Приведенные в табл. 14 средние данные относятся к компрессорным машинам Madisson-Kipp; A. C. Spark Plug Co; Laster (Reed Prentice); Injecta Inca и к поршневым машинам Josef Polak (типы 900 и 600) и Eckert (тип Meguss). При отливке в многогнездные формы данные табл. 14 следует умножить на число гнезд в форме.

Данные составлены на основании практических материалов заводов «Изолит» (Москва), Подольского завода, ЗИС и ряда заводов системы НКОП.

Обработку отливок (удаление литников, зачистка заусенцев) можно производить вручную: ручными напильниками, специально насеченными дисками, вращающимися на осях моторов, шкуркой и на наждачных кругах, или механически — штамповкой на прессах, обрезкой на токарных станках, на ленточных и круглых пилах. Соответствующие средние данные о производительности также указаны в табл. 14.

Стоимость форм зависит от их сложности и материала отливок. Формы для отливок из алюминиевых и медных сплавов, изготовляемые из высоколегированных сталей, обходятся дороже, чем формы для отливок из цинковых сплавов. Приведенные в табл. 14 средние данные о стоимости форм основаны на материалах завода «Изолит» и Подольского завода литья под давлением. При определении стоимости форм принимались в расчет: стоимость материала, затраченного на приспособления, копиры и шаблоны, необходимые для изготовления на копировально-фрезерных станках сложных по конфигурации фасонных частей матриц форм; стоимость материала, затраченного на форму; стоимость рабочей силы и накладные расходы в размере 240%.

При определении стоимости форм учитывалось, что завод, изготовляющий их, располагает достаточным для этого оборудованием (в частности, например, копировально-фрезерным станком типа «Келлер», значительно упрощающим фрезерование сложных конфигураций фасонных выемок и матриц) и вполне опытными квалифицированными кадрами технического персонала и рабочих.

Чтобы снизить затраты, связанные с изготовлением форм, и сделать тем самым применение литья под давлением рентабельным в условиях производств даже мелкосерийного типа, можно приспособить одну и ту же форму для изготовления нескольких деталей. Пользуясь этим

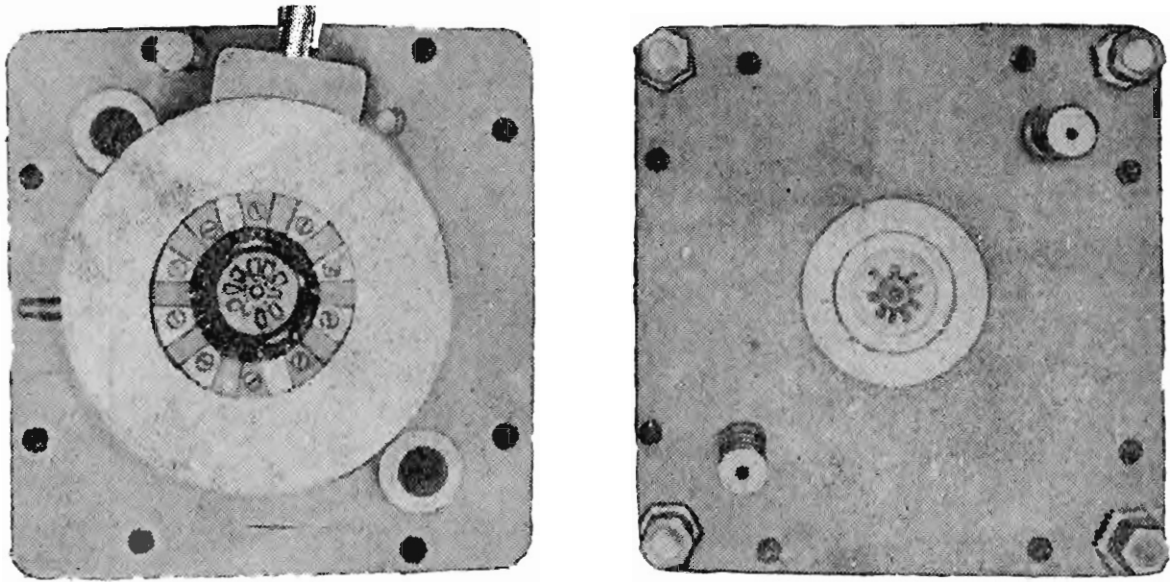
Нормативы по литью под давлением цветных сплавов

Классы сложности отливок	Алюминиевые сплавы			Цинковые сплавы			Медные сплавы		
	Производительность по обработке литья			Производительность по обработке литья			Производительность по обработке литья		
	ручная (штук в час)	станочная (штук в час)	машинная, приведенная к одногнезду (штук в час)	ручная (штук в час)	станочная (штук в час)	машинная, приведенная к одногнезду (штук в час)	ручная (штук в час)	станочная (штук в час)	машинная, приведенная к одногнезду (штук в час)
1-й	от 3 500 до 4 500	90 000	60	от 2 800 до 4 000	200 000	85	от 3 500 до 6 000	40 000	60
2-й	от 4 700 до 6 000	80 000	48	от 4 300 до 5 500	170 000	72	от 6 000 до 10 000	от 30 000 до 20 000	от 50 до 20
3-й	от 6 000 до 8 500	65 000	36	от 6 000 до 7 500	155 000	72	нет		
4-й	от 8 500 до 12 000	60 000	24	от 7 500 до 10 000	120 000	60	нет		

Компрессорные машины

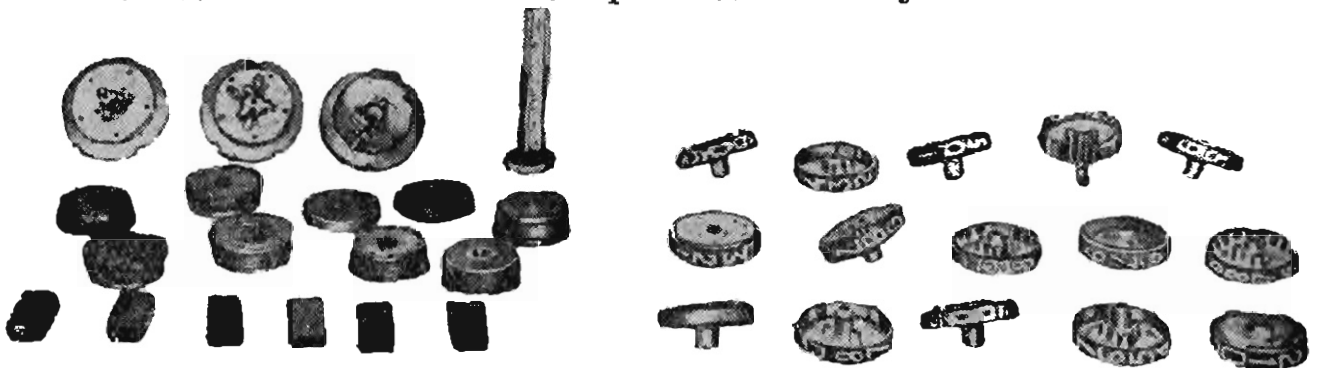
Классы сложности отливок	Алюминиевые сплавы				Цинковые сплавы				
	Стоимость формы (рублей)	Производительность по обработке литья			Стоимость формы (рублей)	Стойкость формы (число годных отливок)	Производительность по обработке литья		
		Производительность машины, приведенная к одногнезду. форма (штук в час)	Обработка ручная (штук в час)	Обработка станочная (штук в час)			Производительность машины, приведенная к одногнезду. форма (штук в час)	Обработка ручная (штук в час)	Обработка станочная (штук в час)
1-й	от 3 000 до 4 000	75	120—150	200—250	от 2 500 до 3 500	250 000	105	10—130	180—200
2-й	от 4 500 до 5 500	60	80—120	160—200	от 4 000 до 5 000	180 000	90	80—100	150—180
3-й	от 6 000 до 8 000	45	35—60	100—160	от 5 500 до 7 000	160 000	90	30—60	100—150
4-й	от 8 000 до 11 000	30	20—30	60—80	от 7 000 до 9 500	120 000	80	20—30	60—80

методом, американская фирма Olmer Far Register Co., Dayton, Ohio, производящая различного рода счетчики и таксометры, широко применяет литье под давлением, хотя ей приходится изготовлять небольшими сериями огромное количество различных деталей¹.



Фиг. 131. Форма для литья под давлением различных деталей.

На фиг. 131 показана одна из форм, применяемых этой фирмой. Форма служит для изготовления двадцати различных деталей, что достигается при помощи взаимозаменяемых гнезд, показанных в левой части фиг. 132. Эти гнезда имеют одинаковый наружный диаметр но отличаются друг от друга формой полости, количеством и формой стержней и т. п. Часть стержней можно устанавливать по глубине благодаря чему одно и то же гнездо можно использовать для отливки деталей, идентичных во всем, кроме длины втулки.



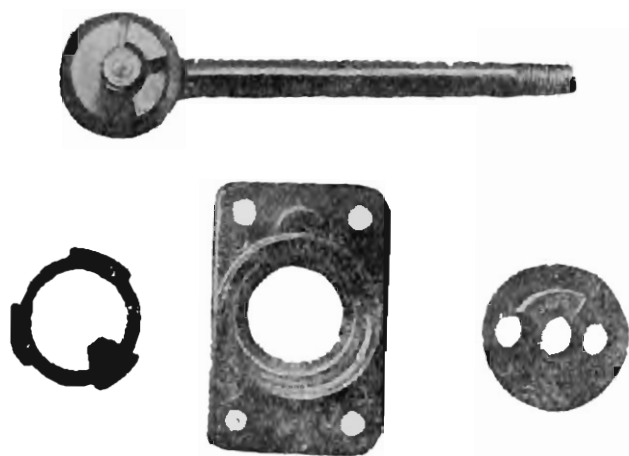
Фиг. 132.

Типичные детали, отливаемые в этой форме, показаны на фиг. 132 справа. Одни из этих деталей имеют по ободу цифры, которые получают весьма просто, устанавливая соответствующие стержни в радиальных пазах.

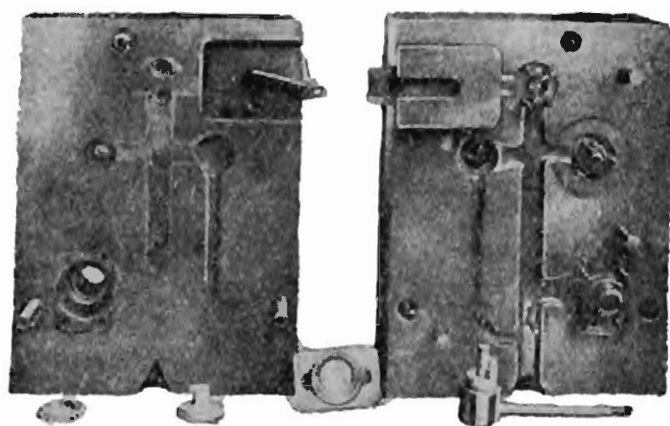
Пример, иллюстрирующий иной метод, показан на фиг. 133—134. Здесь в одной форме отливаются сразу четыре детали.

¹ «Machinery», N. I., 1938.

Стойкость форм в первую очередь зависит от сложности отливки и от сплава. Температура заливки сплава и степень химического воздействия его на поверхность стальной формы обуславливают наиболее высокую стойкость форм, работающих на оловянных и цинковых сплавах, и наиболее низкую — при работе на медных сплавах. Алюминиевые сплавы занимают среднее между ними положение.



Фиг. 133.



Фиг. 134. Форма для отливки разных деталей.

Стойкость форм при работе на поршневых машинах несколько ниже, чем при работе на компрессорных. Это объясняется в основном повышенным давлением и тем, что на поршневых машинах нередко работают при низких температурах сплава, принимающего кашеобразное состояние.

При этих условиях первичные выделения в сплаве действуют разрушающим образом на поверхность форм (подобно пескострую).

Средние данные о стойкости, приведенные в табл. 14, основаны на материалах завода «Изолит», Подольского завода литья под давлением, ЗИС и ряда заводов системы НКОП, изготовляю-

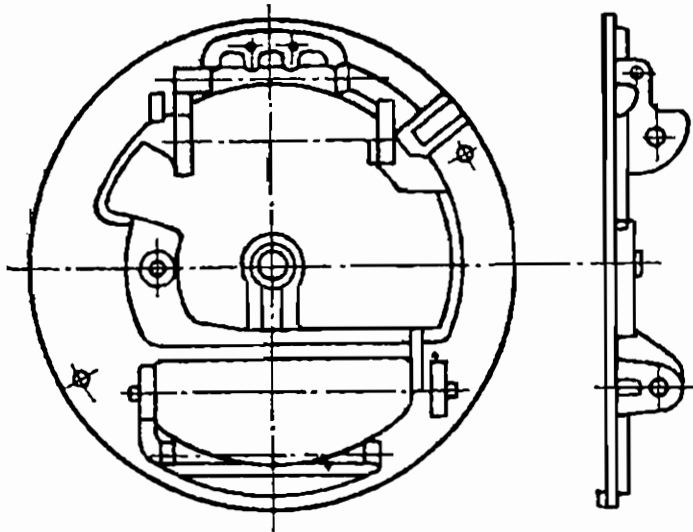
Таблица 15

Стоимость инструмента и приспособлений (в марках)

Материал	30	Материал	30
1 штамп и 1 кондуктор для детали 1	336	1 форма	1152
1 штамп и 1 загибочный штамп для детали 2	240	1 фрезерное приспособление	60
1 штамп, 1 кондуктор и 1 загибочный штамп для детали 3	264	1 приспособление для снятия грата	60
То же для детали 4	228	1 штамп для снятия грата	144
» для детали 5	432	3 шаблона	54
10 шаблонов	150		
Всего	1680	Всего	1500

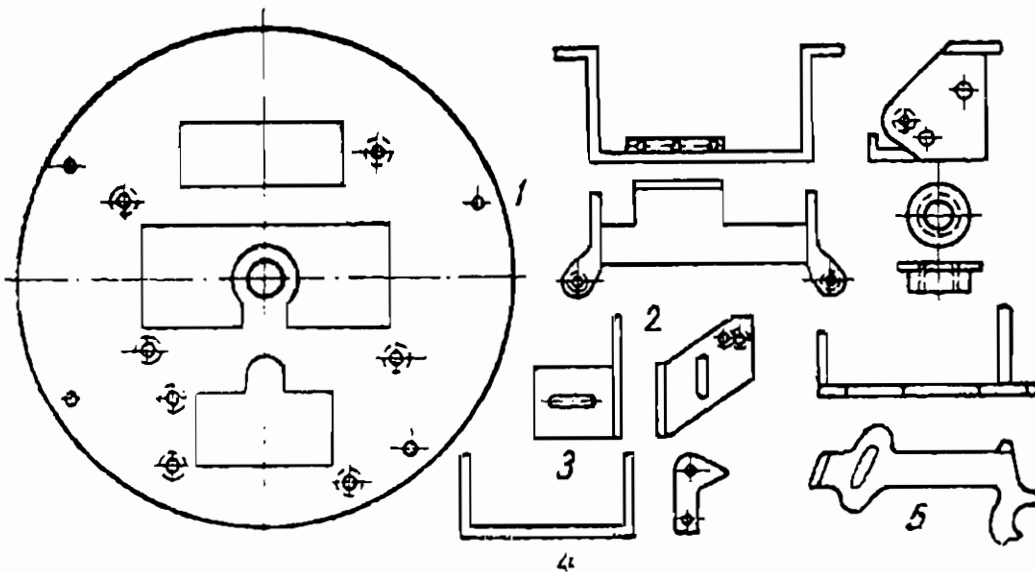
ших главные детали форм преимущественно из отечественной стали 3ХВ8. По литературным данным за границей имеются марки сталей, позволяющие повысить стойкость форм на 100—200% по сравнению с данными, приведенными в табл. 14. Необходимо, однако, иметь в виду, что данные каталогов иностранных фирм могут быть завышены.

Обычно считают, что литье под давлением экономически целесообразно при количестве деталей не менее 2000—3000. Это неверно. В отдельных случаях литье под давлением может оказаться наиболее целесообразным способом изготовления и при значительно меньшем количестве.



Фиг. 135.

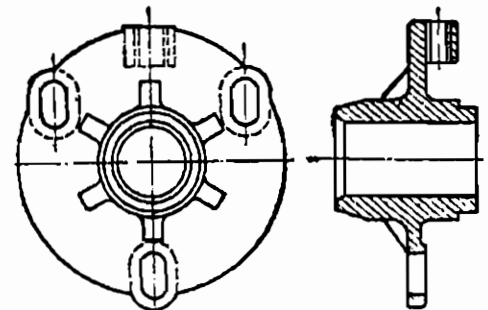
заться наиболее целесообразным способом изготовления и при значительно меньшем количестве.



Фиг. 136.

На фиг. 135 изображена плита счетчика, которую раньше собирали из отдельных штампованных деталей (фиг. 136). Для изготовления этой плиты литьем под давлением потребовалась сложная и дорогостоящая форма. В результате соответствующих подсчетов (табл. 15 на стр. 147) оказалось, однако, что стоимость этой формы ниже, чем суммарная стоимость всех приспособлений, инструментов и шаблонов, потребных при изготовлении этой плиты путем сборки из отдельных деталей¹.

В табл. 16 приведены сравнительные данные о расходах (в марках на 100 деталей) при изготовлении

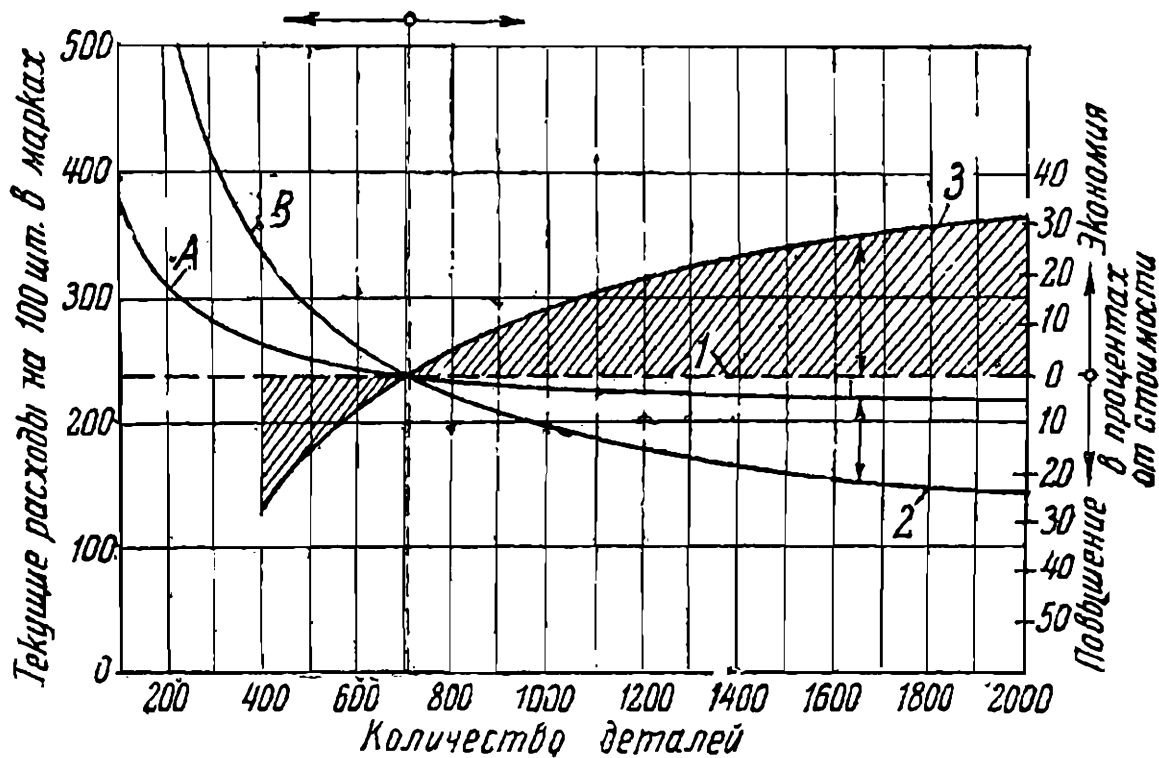


Фиг. 137.

¹ По данным, приведенным в брошюре АWF — 206.

Статьи расхода	Способ изготовления	
	Точение, сверление, фрезерование, резьбо-нарезание	Литье под давлением, зачистка, развертывание отверстия
Обозначения на фиг. 138	А	В
Зарплата	36,39	19,70
Материал	60	31,50
Накладные расходы (300%)	110,88	59,10
Инструмент	205,50	895

детали, показанной на фиг. 137, путем механической обработки и литьем под давлением.



Фиг. 138. Сопоставление различных методов изготовления детали, показанной на фиг. 137. А — механическая обработка; В — литье под давлением.

1—экономия равна нулю, 2—экономия в процентах от стоимости при варианте В, 3—экономия в процентах от стоимости при варианте В.

На фиг. 138 показано сравнение стоимостей этой детали в зависимости от заданного количества.

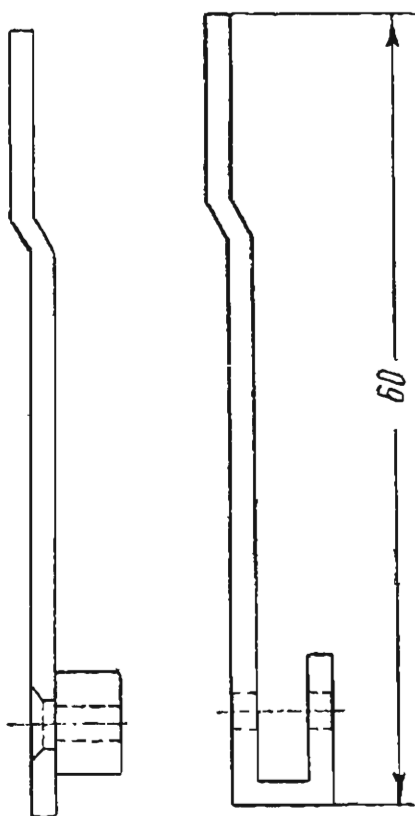
Б. Холодное штампование из листового металла

Преимущества и влияние на конструкцию объекта

Холодное штампование из листового металла в точном приборостроении имеет хотя и широкое, но все же недостаточное применение. В ряде случаев при разработке конструкций изделий точного

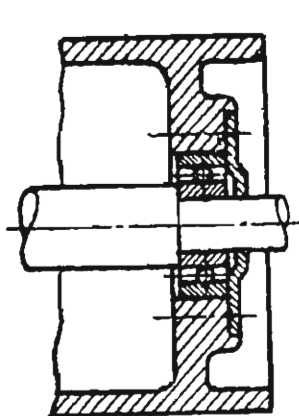
приборостроения не была учтена возможность их изготовления холодным штампованием. Развитие холодного штампования — одного из наиболее рациональных способов обработки деталей точного приборостроения — требует пересмотра конструкций деталей и узлов точного приборостроения и оформления их в соответствии с условиями холодного штампования.

На фиг. 139 показан узел, состоящий из планки и приклепанной к ней втулки. Этот узел можно заменить одной деталью (фиг. 140), изготавливаемой путем вырубki и загибки.

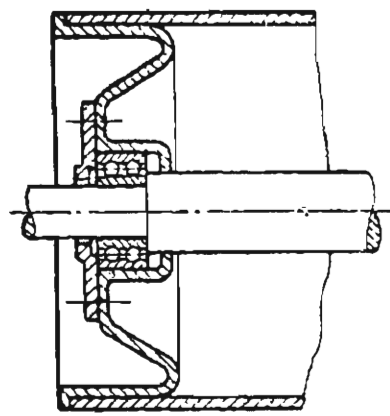


Фиг. 139.

Фиг. 140.

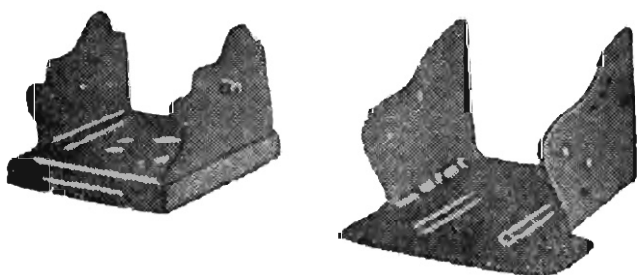


Фиг. 141.



Фиг. 142.

Не всегда, однако, следует стремиться к сокращению количества деталей. В ряде случаев более целесообразно заменить одну сложную деталь несколькими простыми. Значительно упростить технологический процесс и удешевить себестоимость удалось, заменив сложную, требующую дорогой механической обработки (отливка), деталь (фиг. 141) двумя деталями: 1) роликом, изготавливаемым из точно тянутой трубы, и 2) фланцем, изготавливаемым штампованием (фиг. 142).



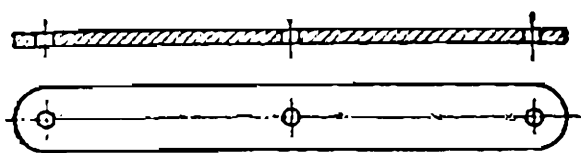
Фиг. 143.

На фиг. 143 слева показана деталь арифмометра, изготавливавшаяся раньше отливкой с последующей механической обработкой. Применяв конструкцию, получаемую штампованием, удалось значительно снизить стоимость детали (фиг. 143 справа).

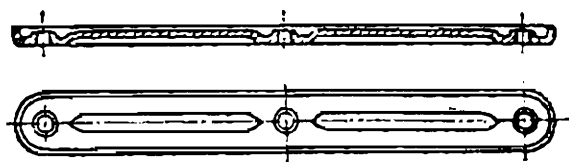
Аналогичных примеров можно было бы привести бесчисленное множество.

Недостатком деталей, изготовленных штампованием из тонкого материала, является их малая жесткость. Штампование же из толстого материала бывает часто сопряжено с существенными затруднениями. Следует, однако, иметь в виду, что в ряде случаев можно

значительно повысить жесткость детали выштамповкой в соответствующих направлениях ребер жесткости, загибкой и закаткой краев, накаткой поясков на бок вой поверхности. Используя эти методы, можно конструировать тонкостенные штампованные детали, обладающие большой степенью жесткости.



Фиг. 144.

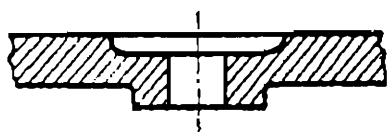


Фиг. 145.

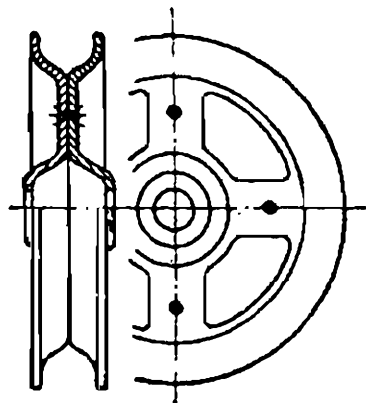
На фиг. 144 показана деталь, ранее изготовлявшаяся из толстого листового железа, причем контур ее вырубали, а отверстия сверлили. В дальнейшем эту деталь переконструировали с таким расчетом, чтобы ее можно было полностью штамповать из тонкого материала. Усиления жесткости достигли путем выштамповки двух ребер и отгибки краев (фиг. 145).



Фиг. 146.



Фиг. 147.



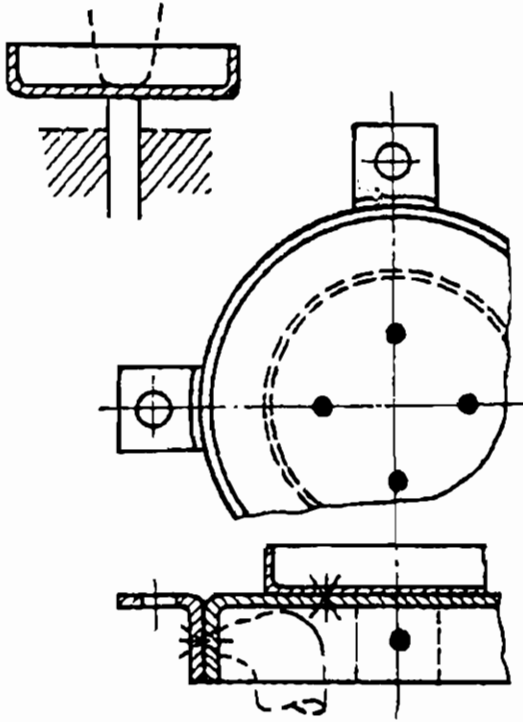
Фиг. 148.

В случаях, когда у отштампованной детали нужно иметь нарезанное отверстие, а толщина материала слишком мала, к стенке детали обычно присоединяют (сваркой, спайкой или расклепыванием) специальные втулки или шайбочки. Значительно проще, однако, можно разрешить ту же задачу путем отбортовки краев отверстий.

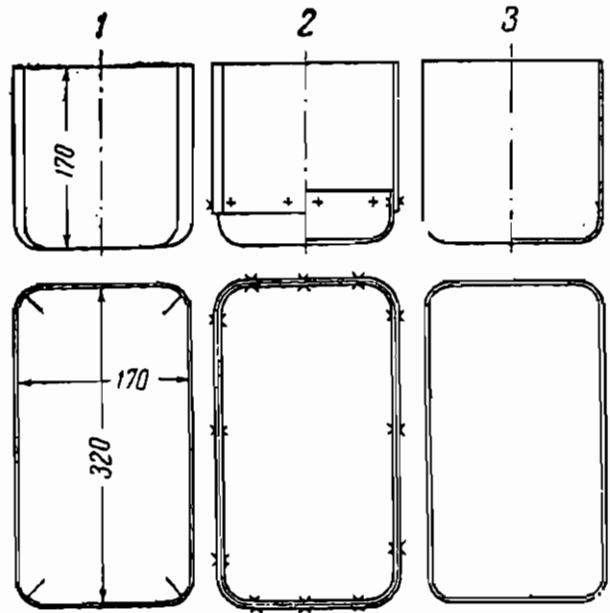
В конструкциях приборов весьма часто встречаются узлы, состоящие из штампованных деталей и присоединенных к ним цилиндрических шипов, выточенных отдельно. В большинстве случаев целесообразнее просто выдавливать эти шипы из листового материала (фиг. 146—147).

Весьма рациональным, расширяющим область применения холодного штампования (в особенности при изготовлении деталей сложной конфигурации), является метод, основанный на штамповании отдельных частей и их сваривании друг с другом.

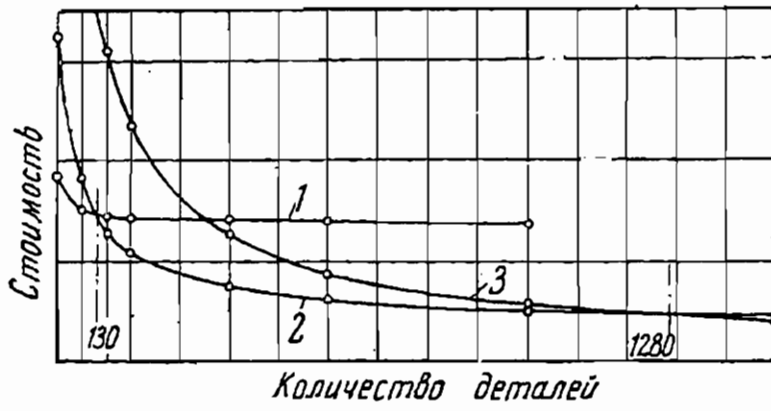
При изготовлении, например, этим методом ролика, показанного на фиг. 148, текущие расходы неизмеримо ниже, чем при изготовлении такой же детали литьем и дальнейшей механической обработки. Уголки, рукоятки и т. п. к штампованным корпусам и крышкам приборов присоединяются точечной сваркой (фиг. 149).



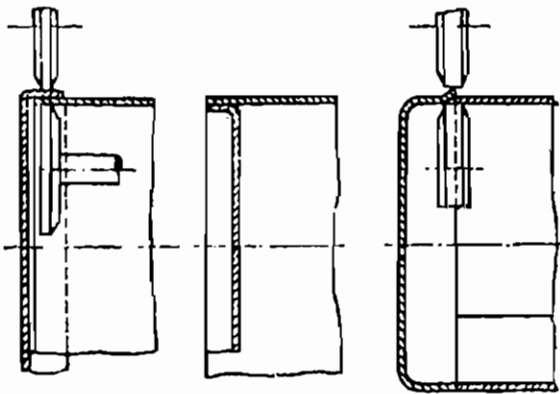
Фиг. 149.



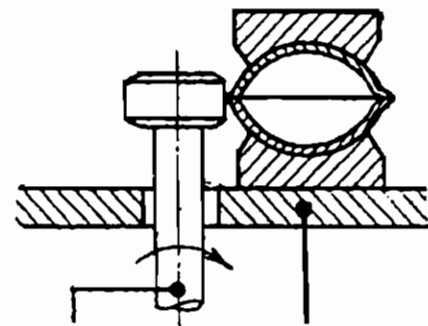
Фиг. 150.



Фиг. 151.



Фиг. 152.

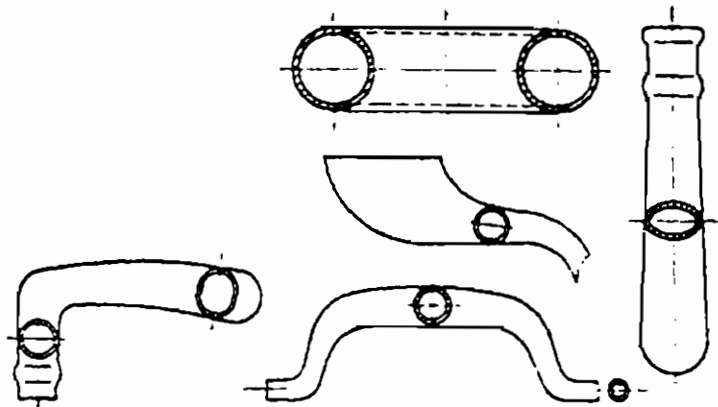


Фиг. 153.

Изготовление глубоких корпусов и крышек вытягиванием часто весьма сложно, поскольку требует нескольких вытяжных операций, отжига, травления и применения дорогих штампов.

В ряде случаев целесообразнее подобные детали сваривать из отдельных частей, полученных вырубанием, загибанием или неглубоким вытягиванием.

На фиг. 150 показаны три варианта оформления детали в соответствии с тремя вариантами технологического процесса, приведенными в табл. 17.



Фиг. 154.

Таблица 17

Статьи расхода	Способ изготовления		
	Загибание, сварка, правка, шлифование	Загибание, вытягивание, сварка, шлифование	Вытягивание
	1	2	3
Зарплата	510	260	200
Материал	340	310	325
Накладные расходы (300%)	1 530	780	600
Инструмент	140	1 500	4 460

Сравнение этих вариантов в экономическом отношении показано на фиг. 151.

На фиг. 152 показаны примеры изготовления деталей путем соединения штампованного днища с трубой посредством сварки по шву.

Следует также отметить способ изготовления полых деталей из двух штампованных частей, которые складывают, зажимают (фиг. 153) и сваривают по шву. Несколько деталей, изготовленных подобным способом, показано на фиг. 154.

Т о ч н о с т ь

Точность детали при штамповании зависит от типа штампа и точности его изготовления.

По данным, приведенным в «Справочнике металлиста», если не указаны допуски на штампы, можно ожидать появления погрешности, главным образом, вследствие неточности изготовления и износа штампов (вырубных, вытяжных, давилых) в пределах величин, указанных в табл. 18.

Размер в мм	До 18	Свыше 18 до 50	Свыше 50 до 120	Свыше 120 до 260	Свыше 260 до 500
Погрешности в мм	$\pm 0,03$	$\pm 0,05$	$\pm 0,07$	$\pm 0,03$	$\pm 0,12$

Методом чистового вырубания можно добиться точности размеров 3-го и даже 2-го класса точности. Сущность этого метода заключается в том, что деталь

Таблица 19

Тип штампа	Толщина материала в мм	Допуск в мм
1. Вырубной простой	до 1	0,05
	от 1 » 2	0,05
	» 2 » 4	0,10
2. Прецизионный (колесный)	» 1	0,015
	» 1 » 2	0,03
	» 2 » 4	0,05
3. Зачистной	» 1	0,015
	» 1 » 2	0,02
	» 2 » 4	0,03

получается с двух ударов: первым ударом вырубается заготовка с некоторым припуском по контуру, вторым ударом (обычно после рихтовки) деталь доводится до окончательных размеров в специальном чистовом штампе. При больших количествах деталей применяют комбинированные штампы, в которых детали одновременно предварительно вырубает и доводят до окончательного размера.

В табл. 19 указана степень точности, достигаемая при штамповке, по материалам 1-го часового завода (размеры деталей до 50 мм).

Экономичность

Заключение об экономичности холодного штампования, как и литья под давлением, в большинстве случаев представляется возможным сделать при помощи ориентировочных расчетов, основанных на средних данных о производительности, стойкости штампов, стоимости их изготовления и ремонта.

На величину этих данных влияют следующие факторы:

- 1) характер операции (вырубание, вытягивание и т. п.);
- 2) характер заготовки (лента, полоса, единичная заготовка);
- 3) толщина материала;
- 4) конфигурация детали, ее материал;
- 5) размеры детали;
- 6) требуемая точность;
- 7) тип штампа;
- 8) тип оборудования.

Представление о средней производительности¹ при различных штамповочных операциях можно получить из данных табл. 20.

Стоимость изготовления штампа можно разбить на две части: 1) стоимость изготовления штампа без стоимости пуансона и матрицы; 2) стоимость изготовления пуансона и матрицы.

Примечание. Расходы на штампы можно снизить также путем применения сварных штампов. У сварных штампов внутренняя часть матрицы и наружная часть пуансона вырезаются из плиты инструментальной стали кислородно-ацетиленовым пламенем.

Наружная часть матрицы и внутренняя часть пуансона, выполняющие роль крепежных частей, вырезаются из плиты машиностроительной стали.

Внутренняя рабочая часть матрицы с наружной, а также наружная рабочая часть пуансона с внутренней соединяются газовой сваркой. После сварки производится механическая обработка режущих частей, а затем термообработка. То обстоятельство, что после термообработки крепежные части штампа остаются мягкими, позволяет сверлить в них отверстия под установочные штифты и винты и значительно облегчает процесс сборки.

Сварные штампы, вышедшие из употребления, можно использовать, разрезая их на отдельные части, которые можно использовать при изготовлении новых штампов; для соединения отдельных элементов отверстия сверлятся в незакаленных частях.

Сварные штампы можно применять для всех видов штамповки — вырубки, выгибки, вытяжки.

При определении стоимости изготовления штампа без пуансона и матрицы можно руководствоваться средними данными.

Проф. В. М. Иоффе при определении стоимости штампов без пуансона и матрицы предлагает исходить из площади под матрицу (считая площадь под матрицу пропорциональной весу штампа). Определение стоимости матриц и пуансонов на основе средних данных может привести к неверным результатам. Здесь в большинстве случаев приходится прибегать к калькуляциям.

Стоимость ремонта штампов имеет существенное значение. В качестве первого приближения можно считать, что стоимость ремонта вырубного и гибочного штампов до их полного износа составляет 100—150% от стоимости их изготовления, а стоимость ремонта вытяжного штампа — 200—300%.

В случаях, когда заданное количество деталей меньше стойкости штампа до его полного износа, при расчетах следует пропорционально уменьшить также и расходы на ремонт.

Чтобы иметь возможность определить количество штампов, а также матриц и пуансонов, потребное для изготовления заданного количества деталей, нужно располагать данными о стойкости².

Стойкость штампа можно определять: 1) до переточки; 2) до смены матрицы и пуансона; 3) до полного износа штампа.

Стойкость штампа выражается в количестве ударов; до полного износа она характеризуется количеством полезных ударов, выдержжи-

¹ Более подробно см. «Нормирование работ по штамповке в холодном состоянии на эксцентриковых прессах» (Гипромаш, Сборник руководящих материалов, 1939 г.).

² Вопрос об экономической целесообразности применения холодного штампования в ряде случаев возникает при небольших количествах деталей, когда весь заказ может быть выполнен одним штампом.

Стойкость штампов

Тип штампа	Стойкость в тысячах ударов										Количество пере- точек и ремонтов
	Медь и латунь					Железо и сталь					
	толщина 0,1—2 мм		толщина 3—5 мм			толщина 0,1—2 мм		толщина 3—5 мм			
	до пере- точки	до пол- ного износа	до пере- точки	до пол- ного износа	до пере- точки	до пол- ного износа	до пере- точки	до пол- ного износа	до пере- точки	до пол- ного износа	
Вырубной простой	30—20	450—300	20—14	300—200	17—10	250—150	10—7	150—100	15		
» сложный	30—20	300—200	20—12	200—120	15—10	150—100	10—7	100—70	10		
Дырпробивной простой	30—20	450—300	20—15	300—200	17—10	250—150	10—7	150—100	15		
» сложный	8—5	80—50	3—5	50—30	4—2	40—20	2—1	20—10	10		
Последовательный простой	20—15	300—200	15—10	200—150	12—8	170—120	8—5	120—80	15		
» сложный	20—15	200—150	15—10	150—100	12—8	120—80	8—5	80—50	10		
Выгибной простой	85—70	600—500	70—55	500—400	55—43	400—300	43—30	300—200	7		
» сложный	85—65	500—400	65—50	400—300	50—35	300—200	35—25	200—150	6		
Вытяжной простой	85—65	500—400	65—40	400—300	60—40	350—250	40—25	250—150	6		
» сложный	80—60	400—300	60—40	300—200	50—30	250—150	30—20	150—100	6		
Формующий простой	85—65	500—400	65—50	400—300	60—40	350—250	40—25	250—150	6		
» сложный	80—60	400—300	60—40	300—200	50—30	250—150	30—20	150—100	5		
Комбинированный режущий простой	30—20	300—200	20—15	200—150	17—12	170—120	12—8	120—80	10		
» » сложный	30—20	200—150	20—14	150—100	17—11	120—80	11—7	80—50	7		
Комбинированный вытяжной простой	30—20	450—300	20—14	300—200	17—10	250—150	10—7	150—100	15		
» » сложный	30—20	300—200	20—12	200—120	15—10	150—100	10—7	100—70	10		

ваемых штампом до тех пор, пока он придет в такое состояние, когда путем смены рабочих частей невозможно восстановить пригодность штампа к нормальной работе.

В табл. 21 приведены примерные данные о стойкости штампов до переточки и до полного износа.

При определении стойкости матриц можно исходить из допускаемого стачивания шейки матрицы при вырубных штампах и из допускаемого изменения величины зазора между матрицей и пуансоном при вытяжных штампах.

В соответствии с этим:

1) стойкость вырубного штампа до смены матрицы

$$k_1 = \left(\frac{L}{l} + 1 \right) \eta S,$$

где L — допускаемая величина стачивания шейки матрицы;

l — толщина слоя, снимаемого при каждой переточке;

S — стойкость штампа до переточки;

η — коэффициент, учитывающий снижение стойкости после каждой переточки (может колебаться от 0,85 до 0,95 в зависимости от материала штампа);

Таблица 22

Толщина материала в мм	Высота шейки матрицы в мм	Толщина слоя, снимаемого при каждой переточке, в мм
До 0,5	От 3,0 до 5,0	0,2
» 1,0	» 5,0 » 8,0	0,4
Выше 1,0	» 8,0 » 10,0	0,6

2) стойкость вытяжного штампа до смены матрицы

$$k_2 = \left(\frac{D_2 - D_1}{2l} + 1 \right) \eta S,$$

где D_2 — максимальный внутренний диаметр вытяжного кольца;

D_1 — его начальный диаметр.

В работе, изданной бригадой Института местной промышленности РСФСР, для вырубных штампов предлагается принимать средние значения, указанные в табл. 22¹.

В. Прессование пластмасс

Основные методы изготовления деталей из пластмасс

Большое количество деталей, не подвергающихся в процессе эксплуатации прибора существенным механическим нагрузкам, в точном приборостроении может быть изготовлено из пластмасс.

¹ При сопоставлении данных табл. 21 и 22 получается несоответствие, выражающееся в том, что стойкость штампа до смены матриц, полученная путем умножения стойкости до переточки (табл. 21) на количество переточек по табл. 22, оказывается равной или даже большей, чем полная стойкость штампов по табл. 21. Это объясняется тем, что данные табл. 21 и 22 взяты из разных источников. Выше уже было указано, что приводимые числовые данные следует рассматривать в основном как иллюстративный материал.

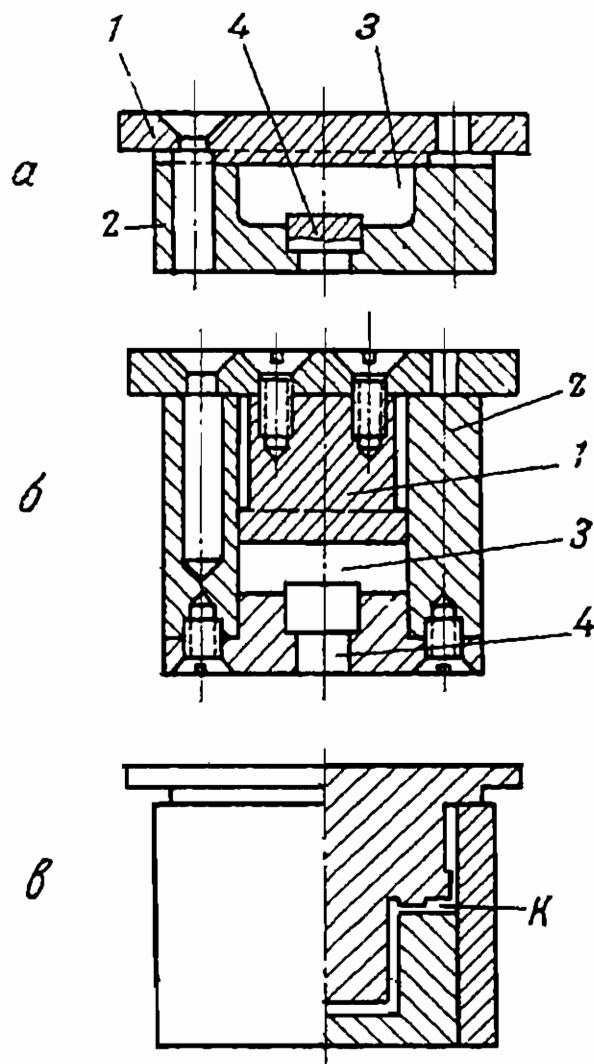
Применение пластмасс в ряде случаев обуславливается их свойствами: высокой сопротивляемостью электрическому пробое, плохой проводимостью тепла, неподверженностью коррозии, сопротивляемостью химическим воздействиям и др.

Основной причиной широкого распространения пластмасс следует, однако, считать технологические преимущества методов изготовления из них деталей. Прессование и другие способы позволяют получать непосредственно из прессформы детали сложной конфигурации со сравнительно точными размерами, обладающие прекрасным внешним видом и нуждающиеся лишь в зачистке или весьма несложной механической доработке.

Так же как и при литье под давлением, при изготовлении деталей из пластмасс можно в нужных местах запрессовывать различные металлические части. Детали, изготовленные из пластмасс, можно покрыть металлическим слоем путем металлизации.

Основным методом получения деталей является горячее прессование терморезистивных пластмасс¹. Пластмасса в виде порошка или таблеток засыпается в металлическую прессформу (фиг. 155), полость которой по форме соответствует изготавливаемой детали. Количество материала, засыпаемое в прессформу, предварительно точно отweighивается.

Прессформа устанавливается на стол пресса (существуют также стационарные прессформы, которые крепятся к столу пресса неподвижно). Плита пресса или сама прессформа нагреваются (паром или электричеством) и затем дается давление. Под действием высокой температуры (в среднем 160°) и давления пластмасса становится



Фиг. 155. Различные типы прессформ.

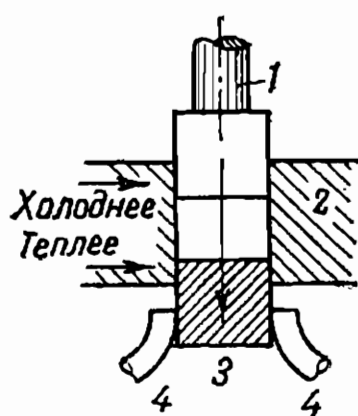
а—прессформа открытого типа и б—закрытого типа, 1—пуансон, 2—матрица, 3—рабочее пространство, 4—выталкиватель изделия.

в—схема прессформы с перетеканием (с каналами k для отжима излишков смолы).

¹ В соответствии с общим содержанием настоящей книги мы считаем возможным ограничиться в ней лишь краткими основными указаниями, рекомендуя для получения более подробных сведений обратиться к следующей специальной литературе: 1) Л и с е в, Методы прессования пластических масс, Госхимтехиздат, 1934, 2) А р х а н г е л ь с к и й, Прессование изделий из пластических масс, 3) Б р а н д е н б у р г е р, Техника прессования пластмасс, Гл. редакция химической лит-ры, 1935, 4) З а м м е р ф е л ь д, Пластические массы, Гл. редакция химической лит-ры, 1935.

текучей и заполняет все полости прессформы и в результате полимеризации переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Этот химический процесс носит название отверждения в отличие от отвердевания, представляющего собою переход при охлаждении в твердое состояние. После выдержки, необходимой для того, чтобы закончился процесс отверждения, деталь извлекается из прессформы.

Значительно реже, чем горячее прессование, применяется холодное прессование, при котором пластмасса прессуется в холодных прессформах. Отформованное изделие вынимается из прессформы и прогревается в термостате или в автоклаве при постепенно возрастающей температуре. Преимуществом этого способа является недолгое пребывание изделия в форме, недостатком — плохой внешний вид изделия (отсутствие блеска) и невозможность получения изделий с глубоким профилем вследствие слабой текучести материала в холодной форме. Кроме того, механическая прочность изделий, изготовленных холодным прессованием, невысока.



Фиг. 156. Прессформа для изготовления прутков.

1—нажимной штемпель, 2—форма, 3—изделие, 4—сжимающие щечки.

В отдельных случаях применяется горячее прессование термопластических масс (целлюлоид, этрол, асфальтопечковые массы и др.), которые при нагревании, так же как и термоактивные пластмассы, приобретают пластичность и под влиянием давления заполняют все полости прессформы. При этом, однако, в самой пластмассе процесса полимеризации не происходит. Чтобы привести отпрессованную деталь в твердое состояние и вынуть из прессформы, ее необходимо охладить. Если такую деталь нагреть, она снова делается пластичной.

Для изготовления мелких сложных деталей, прессование которых невозможно или неэффективно, применяют литье под давлением. Пластмассу расплавляют в особой камере и затем при помощи высокого давления вводят в форму, где она затвердевает при охлаждении.

Основное различие между литьем под давлением и обычным прессованием заключается в том, что при последнем способе составные части формы доводятся до конечного положения во время процесса формования, тогда как при литье под давлением форма с самого начала находится в неизменном конечном состоянии. Возможности изготовления сложных предметов литьем под давлением шире, чем изготовления прессованием.

Детали, к которым предъявляются высокие требования в отношении прочности, а также имеющие плоскую форму, могут быть изготовлены из текстолита — ткани, пропитанной бакелитовой смолой и отпрессованной на гидравлическом прессе в виде пластин различной толщины. Вместо ткани применяется также бумага. Материал, полученный путем пропитки бумаги, называется гетинаксом.

Наконец, следует также отметить способ получения длинных прутков различных поперечных сечений путем продавливания пласт-

массы через короткую, так называемую волоочильную, форму, имеющую холодное выходное отверстие (фиг. 156). По этому способу можно изготовить за одну минуту в одногнездной форме 30 см прутка.

Т о ч н о с т ь

При прессовании пластмасс можно выдержать допуски по 5—7-му классам точности. В иностранных источниках указываются более узкие допуски (на 20—50%).

Э к о н о м и ч н о с т ь

Удельный вес пластмасс, применяемых в технике, составляет лишь 1,35—1,46 г/см³. Чистый вес детали, изготовленной из пластмассы, почти в шесть раз меньше, чем чистый вес такой же детали, изготовленной из латуни. Если учесть неизбежные при изготовлении деталей из металлов отходы, нетрудно прийти к выводу, что при изготовлении деталей из пластмасс достигается существенная экономия в расходах на материал. Особенно важное значение имеет то обстоятельство, что, применяя пластмассы, в ряде отраслей промышленности возможно сократить расходование дефицитных цветных металлов, в частности латуни.

Основное время в процессе прессования термореактивных пластмасс затрачивается на выдержку пластмассы в прессформе под давлением. При определении времени выдержки применяется следующее практическое правило: толщина стенки в миллиметрах умножается на 30—60 сек. (в зависимости от сорта материала). Это время требуется для того, чтобы произошел процесс отверждения. Если не предъявляется высоких требований в отношении прочности, термических или электрических свойств, детали часто вынимают из прессформы раньше, чем процесс отверждения закончится полностью. Для уменьшения времени, потребного для отверждения, массу часто предварительно подогревают до 60—80°.

Так же как и при литье металлов под давлением, при прессовании пластмасс применяются многогнездные формы. Производительность зависит от применяемого оборудования, степени его автоматизации и организации работы. Обычно несколько прессов обслуживает один рабочий.

Так же как и при литье под давлением, при прессовании пластмасс необходимо учитывать расходы на дополнительную механическую обработку. Неизбежной операцией является снятие облоя, или грата, получающегося вследствие затекания пластмассы в тонкие щели на местах разъема прессформы.

Механическая обработка¹ на металлорежущих станках значительно удорожает стоимость деталей, изготовленных путем прессования, так как:

¹ О механической обработке пластмасс, кроме источников, указанных выше, см. статью А. К р ü g e r, Die Bearbeitung von Isolierpresstoffen, «Maschinenbau», 1935, № 21/22, November, а также журн. VDI, 1935, № 11, S. 347.

1) пластмассы обладают очень низкой теплопроводностью и потому инструмент быстро отпускается, для охлаждения же инструмента нельзя употреблять ни воды, ни какой-либо охлаждающей смеси (инструмент будет скользить по обрабатываемой поверхности);

2) приходится применять специальные инструменты, в большинстве случаев из твердых сплавов;

3) инструменты быстро тупятся и требуют более частой заточки, чем при обработке металлов;

4) образующаяся при обработке пылевидная стружка забивает все поры станка и разъедает направляющие поверхности;

5) места, обработанные на станках, нуждаются в полировке.

Из операций механической обработки пластмасс следует отметить в качестве наиболее распространенных сверление отверстий, которые по каким-либо причинам не были получены при прессовании (боковые отверстия, отверстия малого диаметра), и доведение размеров до более высокой степени точности, чем это достижимо при прессовании.

Стоимость формы зависит от конфигурации детали, количества деталей, прессуемых в одной форме, материала и способа изготовления формы. В большинстве случаев прессформы изготавливаются из стали. При незначительных количествах деталей стоимость формы можно снизить, изготавливая ее из легких сплавов, алюминия и др. При большом количестве однотипных гнезд можно использовать способ выдавливания их штампом. Этот способ позволяет получить почти готовое гнездо, которое надо только зачистить.

Г. Прочие методы, применяемые в точном приборостроении

Литье цветных металлов в землю вплоть до последних лет было одним из основных методов получения заготовок в точном приборостроении. Этот метод обладает следующими недостатками:

1) невысокая точность размеров и низкое качество поверхности заставляют в большинстве случаев почти полностью подвергать заготовки механической обработке;

2) невысокие механические свойства отливок;

3) кроме отходов, связанных со снятием припусков при механической обработке, имеют место потери металла на угар (при бронзе и латуни — до 7—8%), отходы на литники (при мелких деталях достигающие 50%) и так называемые деклассированные отходы, т. е. отходы, которые не могут быть использованы в производстве без предварительной обработки (сплески, сор, шлак и т. п.);

4) кроме брака, происходящего в процессе литья, при механической обработке отливок часто выявляется брак, не обнаруженный в литейной и доходящий (на заводах Московской области по статистическим данным 1935 г.) до 10%¹.

Литье в кокли, применяемое на ряде заводов точного приборостроения, обладает по сравнению с литьем в землю следующими преимуществами²:

¹ «Цветные металлы», 1935, № 8, стр. 118.

² «Maschinenbau», 1938, Dezember.

- 1) отсутствие трудоемкой операции формовки;
- 2) более высокая точность и меньшие припуски;
- 3) более чистая наружная поверхность;
- 4) лучшее качество литья.

Недостатком литья в кокили является высокая стоимость чугуновых или стальных кокилей.

За последние годы на предприятиях точного приборостроения широкое распространение получило горячее штампование цветных металлов. По сравнению с литьем в землю горячее штампование обладает следующими преимуществами:

- 1) имеется возможность выдерживать размеры деталей с допуском 0,25 мм;
- 2) поверхность получается более чистой и гладкой;
- 3) сокращается, а в отдельных случаях и совсем отпадает необходимость в дальнейшей механической обработке (кроме снятия облоя, что производится обычно на эксцентриковых прессах);
- 4) вследствие большей точности размеров значительно упрощается конструкция зажимных приспособлений для последующей механической обработки;
- 5) лучшие механические свойства металла: большая прочность, отсутствие пузырей, раковин и пр.;
- 6) более экономный расход материала;
- 7) значительно меньший процент брака.

На фиг. 7 была показана кривая распределения размеров латунных деталей, отштампованных в горячем состоянии на одном из московских заводов. Среднее квадратическое отклонение оказалось равным $\sigma = 0,03$, т. е. размеры деталей рассеивались в пределах 0,18 мм.

Механические свойства материала при горячем штамповании по сравнению с литьем в землю повышаются весьма значительно. Например, прессованная латунь Л-58 имеет 45 кг/мм² сопротивления на разрыв, 20% удлинения и твердость по Бринеллю 80—90 кг/мм².

Микроструктура штампованных деталей отличается от микроструктуры литых деталей своей мелкозернистостью. На фиг. 157 показаны фотоснимки микроструктуры деталей из одного и того же сплава, полученные при литье в землю и при горячей штамповке.

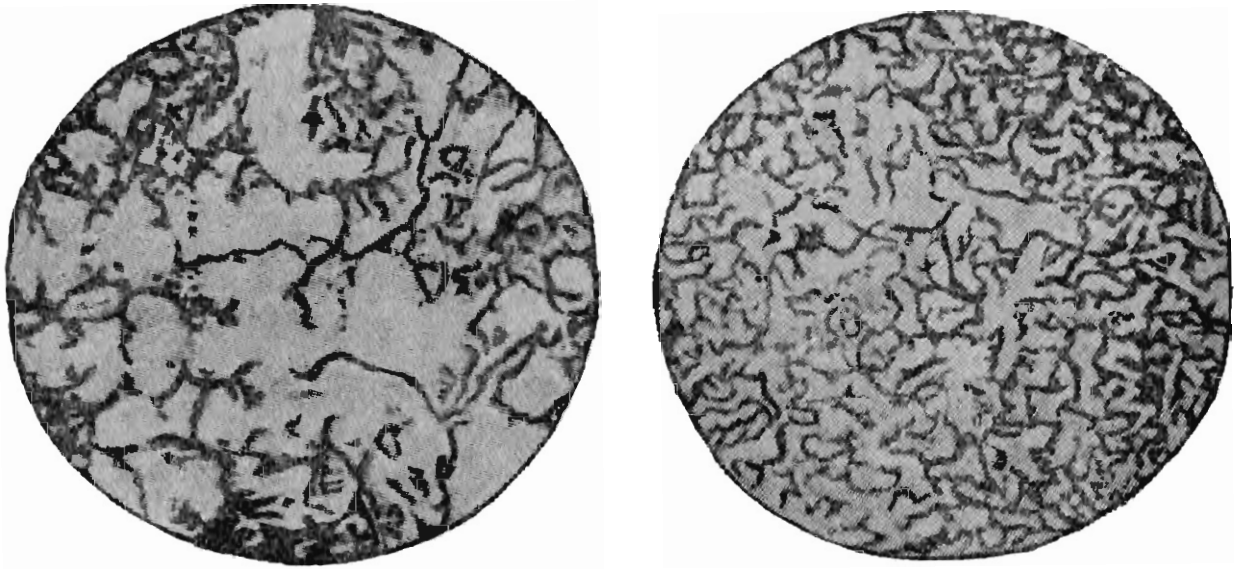
Повышение механических свойств позволяет экономить металл и делать детали меньших размеров, чем это требуется для деталей, отлитых в землю, а также позволяет применять вместо дорогих оловянистых бронз более дешевые сплавы, в частности латунь.

Отходы при горячем штамповании в большинстве случаев не превышают 10%. Брак при горячем штамповании обычно значительно меньше, чем при литье (в особенности, если учесть брак отливок, выявляемый в процессе механической обработки).

Из цветных металлов, кроме латуни, в горячем состоянии штампуются различные сорта легких сплавов: Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, Al-Mn, Al-Mg, Al-Si и сплавы типа электрона. Детали из этих сплавов, полученные штампованием в горячем состоянии, обладают мелко-

зернистым строением, хорошими механическими свойствами, хорошо обрабатываются резанием и полируются.

Способ горячего штампования можно использовать для изделий самых разнообразных форм. Путем применения составных штампов



Фиг. 157. Структура одного и того же сплава: слева—при литье в землю и справа—при горячей штамповке.

удалось разрешить задачу штампования деталей, имеющих сечение посередине более узкое, чем сверху и снизу, а также наружной резьбы.

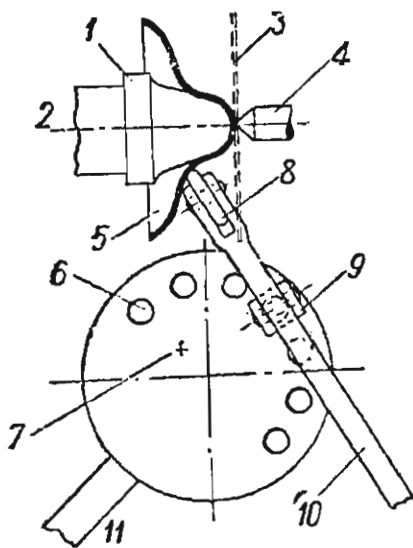
Затруднения представляет лишь штампование деталей с тонкими стенками (тоньше 2,5—3 мм), с острыми углами, задерживающими течение металла, а также деталей, имеющих резкие изменения поперечного сечения в направлении течения материала в штампе, что служит причиной образования складок.

За последние годы литье в землю цветных металлов вытесняется на наших приборостроительных заводах горячим штампованием.

Необходимо отметить, что по сравнению с литьем под давлением горячее штампование может оказаться более целесообразным лишь при небольшом количестве деталей, невысокой точности или при наличии особо высоких требований в отношении плотности или механических свойств деталей аппаратуры, работающей при высоких давлениях и на истирание.

Тонкостенные детали, имеющие формы тел вращения, можно изготовлять путем

их выдавливания из листового металла на токарном или специальном токарно-давальном станке. Схема процесса выдавливания показана на фиг. 158. Заготовка в виде диска



Фиг. 158. Схема выдавливания детали на станке.

1—давальный патрон, 2—шпиндель, 3—заготовка, 4—задняя бабка, 5—деталь в процессе выдавливания, 6—отверстие для установки вилки, 7—центр вращения супорта, 8—давальный ролик, 9—вращающаяся вилка, 10—держатель давального ролика, 11—рычаг супорта.

прижимается центром задней бабки к патрону, форма которого соответствует форме внутренней полости изготавливаемой детали. При помощи инструмента, называемого давилником, или ролика (как показано на фигуре), к патрону постепенно прижимают вращающуюся вместе с ним заготовку (заготовка не должна поворачиваться по отношению к патрону), добиваясь того, чтобы она, постепенно растягивалась и без морщин и складок облегла патрон.

Выдавливанием изготавливаются детали из тех же металлов, что и при вытягивании.

Толщина листового материала не должна превышать 1 мм, в редких случаях допускается выдавливание деталей толщиной 1,5 — 2 мм.

Выдавливание является методом малопродуктивным и при обычных способах работы доступно лишь рабочему высокой квалификации. Кроме того, при деталях сложной формы и при жестком материале приходится делать несколько переходных патронов. После выдавливания по каждому из них деталь нужно отжигать.

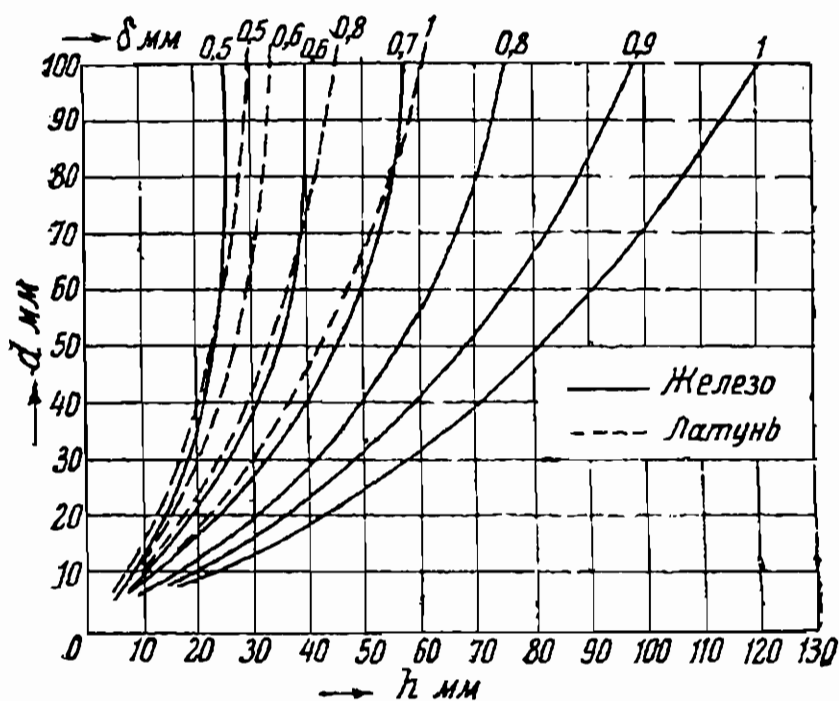
Промежуточный отжиг изделий, значительно повышающий их стоимость, нежелателен, но очень часто неизбежен.

На фиг. 159 приведены кривые, построенные на основе эмпирических данных, показывающие зависимость между высотой и диаметром, которые могут быть получены выдавливанием без промежуточного отжига. Для алюминия эти значения в 3—5 раз больше, чем для стали.

Выдавливание следует применять в тех случаях, когда, вследствие небольшого количества подлежащих изготовлению деталей, изготовление вытяжных штампов было бы нерентабельным и при изготовлении деталей таких форм, которые невозможно получить путем вытягивания на прессах. Выдавливанием при помощи разъемных патронов можно изготовить даже детали, имеющие, например, форму, показанную на фиг. 160.

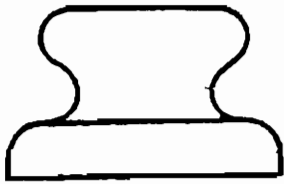
При изготовлении крупных деталей в большом количестве можно использовать способ выдавливания по шаблону, показанный на фиг. 161.

Точность изготовления детали методом выдавливания на станках зависит от качества металла и в значительной степени от уменьшения и

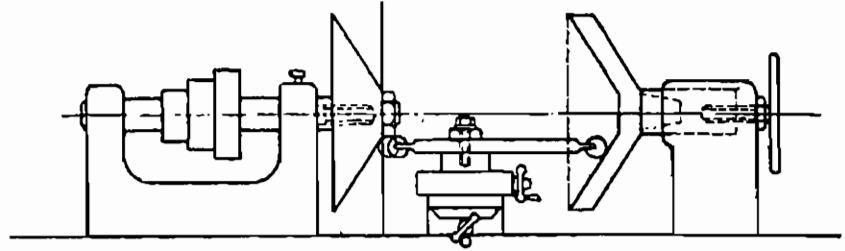


Фиг. 159.

внимательности мастера. Обычно принимают допуск 0,2—0,3 мм для диаметров до 500 мм и 0,3—0,5 мм — для больших диаметров. При изготовлении длинных цилиндрических изделий указанные выше допуски увеличивают на 0,1—0,2 мм, учитывая пружинение металла, которое при длинных изделиях становится ощутительным. Точность изготовленной на давальном станке детали в значительной степени зависит также от материала, из которого сделан патрон.



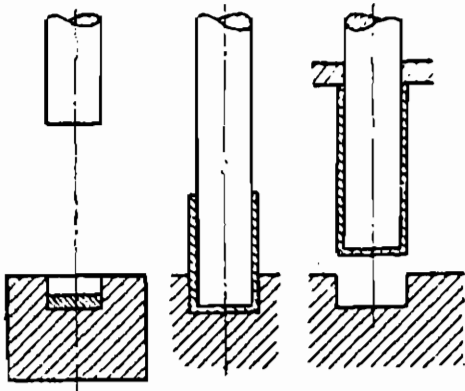
Фиг. 160.



Фиг. 161. Выдавливание по шаблону.

Для достижения повышенной точности изделия при выдавливании его на клееном деревянном патроне, последний перед выдавливанием детали необходимо доводить до окончательных размеров при помощи давольного ролика.

При изготовлении пустотелых деталей из мягких металлов — свинца, цинка, алюминия и, отчасти, меди — применяется метод так называемого ударного продавливания (Impact Extrusion)¹. Все перечисленные металлы указанным методом можно обрабатывать в холодном состоянии за исключением свинца, который предварительно надо подогреть до 200°.



Фиг. 162. Ударное продавливание (Impact Extrusion).

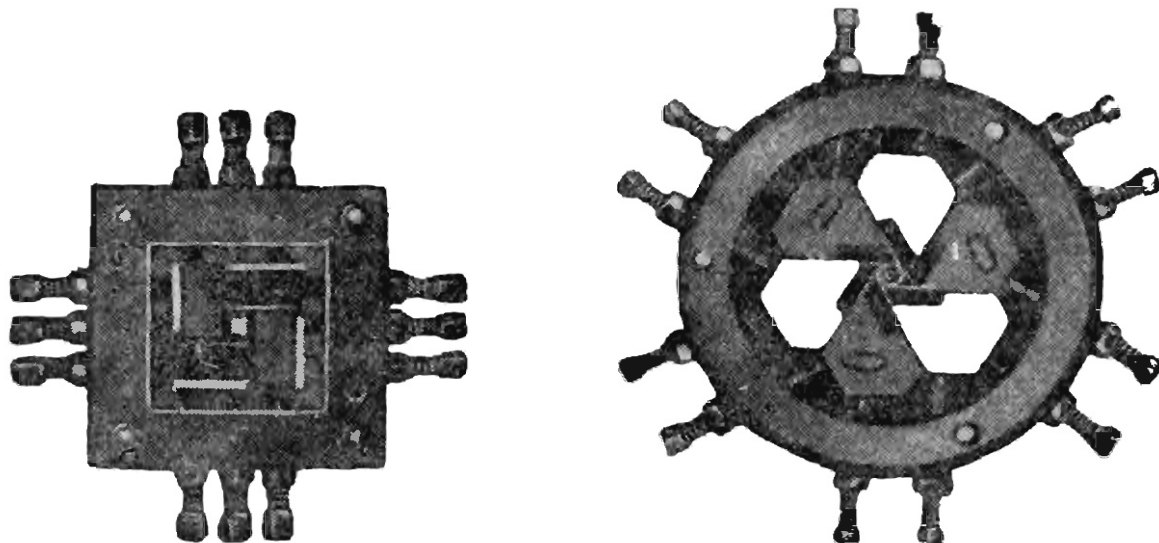
На уложенную в матрицу круглую заготовку соответствующего диаметра и толщины сильно ударяют пуансоном (фиг. 162). Под давлением пуансона металл приходит в состояние текучести и течет из матрицы вверх вдоль пуансона, образуя таким образом пустотелое тело формы, соответствующей форме пуансона. При изготовлении указанным методом деталей на эксцентриковом прессе давление пуансона на металл производится в течение

очень короткого промежутка времени. Вследствие этого заготовка нагревается почти до точки плавления, но тотчас же остывает, так как стенки детали имеют небольшую толщину.

Описанным методом можно изготавливать детали самой разнообразной формы: цилиндрические, прямоугольные и овальные коробки и т. п. Минимальная толщина стенки при этом методе — 0,1 мм, максимальная — 1,5 мм (это не является окончательным пределом). Диаметр деталей колеблется в пределах от 8 до 80 мм. Вы-

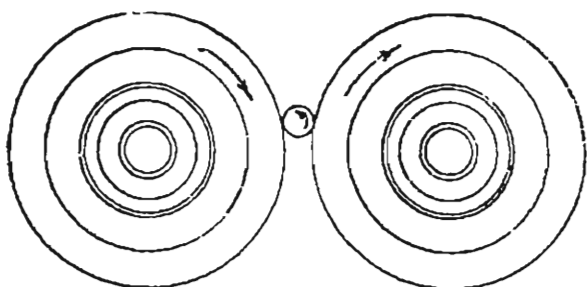
¹ Impact Extrusion of soft Metals, «Machinery», L, 1936, № 1222; Kaltspritzen von Aluminium Hülsen, VDI, 1936, № 5.

сота детали зависит от диаметра. При небольших деталях отношение высоты к диаметру составляет 6—8. Работа производится на вертикальных и горизонтальных коленчатых и шарнирных прессах с жесткой и прочной станиной. Производительность вертикальных коленчатых прессов, оборудованных магазинной подачей заготовок, составляет примерно 4000 шт. в час. Производительность горизонтальных прессов приблизительно вдвое меньше.

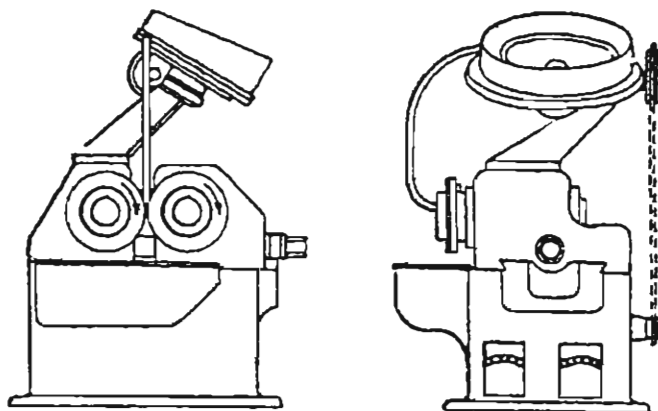


Фиг. 163. Волоочильные доски со вставными плашками из твердых сплавов.

При изготовлении мелких деталей с фасонным контуром поперечного сечения с успехом можно использовать метод, основанный на волочении прутка сквозь соответствующие волоочильные доски и разрезании его затем на отдельные детали. Подобным методом изготавливаются, например, вкладыш хомутика теодолита, трибка часового механизма (см. ниже) и ряд других деталей.



Фиг. 164. Схема прокатывания между двумя вращающимися роликами.

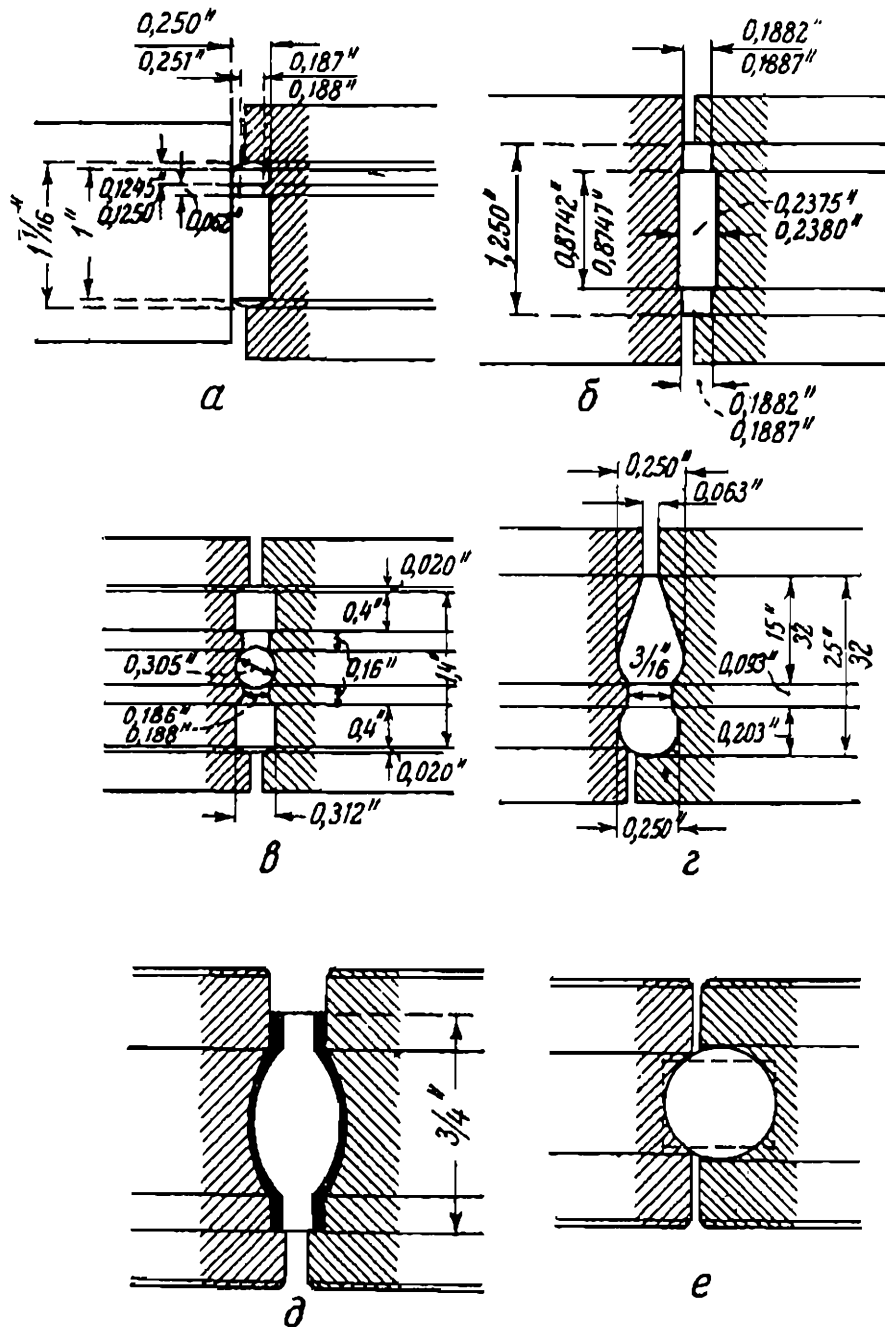


Фиг. 165. Схема станка для прокатывания.

На фиг. 163 показаны волоочильные доски со вставными плашками из твердых сплавов. Подобные доски можно применять для различных профилей, причем каждую доску можно устанавливать на любые размеры. При применении этих досок устраняются трудности, связанные со шлифовкой фасонных поверхностей в твердых сплавах.

Следует также отметить мало у нас известный, но в ряде случаев могущий быть весьма целесообразным метод холодного про-

к а т ы в а н и я (c o l d r o l l i n g), основанный на пластической деформации металла при прокатывании заготовки между двумя роликками¹. Принцип этого метода, по существу аналогичный принципу бесцентрового шлифования, показан на фиг. 164. Станок для прокатывания мелких изделий, работающий по указанному принципу



Фиг. 166.

(Duplex differential automatic cold rolling machine), показан на фиг. 165. Ролики насажены на шпиндели бабок. Одна бабка неподвижно соединена со станиной, другая скользит вдоль направляющих. Бабка перемещается при помощи винта и микрометрической гайки. Нарезанные заготовки подаются к роликкам автоматически—из магазина по желобу. Когда изделие достигает требуемых размеров, оно проваливается сквозь ролик. Контролировать размеры в процессе работы не требуется. Настроенный станок может обслуживать мало-

¹ Журн. «American Machinist», 1932, 13 febr.

квалифицированный рабочий. Точность изготовления весьма высока: допуск 0,05 мм вполне нормален. Детали выходят с полированной поверхностью.

На фиг. 166 приведен ряд мелких точных деталей, которые наиболее целесообразно изготовлять холодным прокатыванием. Детали *a* и *б* изготовляются из черной стальной проволоки диаметром 6,35 мм ($1/4$ ""). Отрезанные заготовки укладываются в магазин. Производительность 70—80 изделий в минуту. Чтобы выдержать размеры детали *a* в пределах предоставленных допусков, при обычном способе обработки на станках пришлось бы прибегнуть к бесцентровому шлифованию. Преимущества описываемого метода очевидны.

Одной из наиболее трудных работ является изготовление деталей с точными сферическими поверхностями. При помощи холодного прокатывания эта задача, как показывает фиг. 166, *e*, разрешается весьма просто. При вытачивании на автоматах 1000 подобных деталей потребовалось бы 12,5 кг материала, при холодном прокатывании — не более 8,5 кг. Кроме того, производительность при последнем способе в 2,5 раза выше.

Изготовление холодным прокатыванием показанной на фиг. 166, *g* латунной детали по производительности, степени отделки поверхности и количеству отходов вряд ли может быть сравнимо с каким-либо другим способом обработки.

Разумеется, способ холодного прокатывания может оказаться рентабельным лишь начиная с определенного количества изготавливаемых деталей. Это количество обуславливается стоимостью роликов, которая в свою очередь зависит от формы детали и требуемой степени отделки поверхности.

2. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

Величина припусков на обработку имеет весьма важное значение. Преувеличенный припуск вызывает: 1) увеличение расхода материала, что особенно недопустимо в точном приборостроении, где припуски нередко составляют 100% и более от чистого веса детали и где применяются преимущественно дорогие, а в ряде случаев и дефицитные цветные металлы; 2) понижение производительности, так как с увеличением глубины резания понижается скорость резания и увеличивается число проходов; 3) понижение качества детали, так как при снятии припуска одновременно удаляется и верхний наиболее износостойчивый слой металла.

С другой стороны, при чрезмерном уменьшении припусков не обеспечивается возможность изготовления всех деталей с требуемой степенью точности и качеством поверхности. Вплоть до последних лет значения припусков определялись на основании статистических данных и формул эмпирического характера.

Проф. В. М. Кованом разработан вопрос об определении нормальных припусков на основе научно обоснованного метода. К сожалению, конкретные результаты исследований проф. В. М. Кована, проведенных применительно к машиностроению, в точном приборостроении могут быть использованы в ограниченной степени.

Вкратце излагаем предложенную В. М. Кованом методику определения нормальных припусков¹.

Обозначим:

H_u — наименьший предельный размер заготовки (для наружных размеров);

A — наибольший предельный размер обработанной детали по чертежу;

z'_r — слой металла, компенсирующий погрешности формы заготовки;

z''_r — дефектный слой металла, подлежащий удалению;

$\sum z_m$ — сумма межоперационных припусков на заготовку (на обе грани).

$$H_u = A + (z'_r + z''_r) + \sum z_m.$$

При определении величины z''_r необходимо учитывать глубину твердой корки (при литье)², обезуглероженного или разрушенного слоя, раковин и окалины (при ковке).

Величина дефектного слоя зависит от материала и метода выполнения заготовки. При данном материале и данном методе выполнения заготовки дефектный слой тем больше, чем больше размеры детали и чем сложнее ее конфигурация.

Величиной z'_r учитываются различные искажения формы заготовки (искривления, смещения одной части отливки относительно другой, овальность и т. п.). Чтобы «выкроить» деталь из заготовки, имеющей отступления от правильной геометрической формы, необходимо увеличить припуск на обработку.

Величина z'_r зависит от метода выполнения заготовки. При данном методе выполнения заготовки z'_r тем больше, чем больше размеры детали и чем сложнее ее конфигурация.

Проф. В. М. Кован разработал на основе произведенных им наблюдений и исследований таблицы значений $z_r = z'_r + z''_r$ (см. приложение 6) для различных материалов и методов выполнения заготовки.

Номинальный размер заготовки

$$H_n = A + z_r + \sum z_m - z_u,$$

где z_u — нижнее отклонение по размеру заготовки.

Номинальная величина припуска z_n определяется как разность между номинальным размером заготовки и наибольшим предельным размером детали.

¹ Более подробно см. книгу: В. М. Кован, Технология автотракторостроения, 1938.

² Величина дефектного слоя принята одинаковой на обеих гранях. В тех случаях, когда это не имеет места, необходимо величину z''_r подсчитывать для каждой грани отдельно.

Величина z_r зависит от точности метода выполнения заготовки и определяется на основе соответствующих статистических данных.

Величиной z_r' определяется подлежащий снятию при обработке слой металла без учета штамповочных и литейных уклонов¹.

В настоящее время мы не имеем еще данных, которые позволяли бы (в особенности в точном приборостроении) надежно определять каждое из слагаемых, входящих в величину $\sum z_m$.

Кроме того, в ряде случаев при установлении нормальных припусков следует вводить коэффициент, учитывающий возможность компенсации одних погрешностей другими.

На предприятиях в настоящее время пользуются таблицами, в которых даются приближенные суммарные значения межоперационных припусков в зависимости от некоторых общих параметров (метода выполнения заготовки, ее размеров, материала и т. п.).

3. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ НА КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ²

Как указано в первой части книги, при окончательном оформлении конструкции детали необходимо учитывать требования к материалу и конфигурации, обуславливаемые принятым вариантом технологического процесса.

Сплошь и рядом совершенно несущественные в конструктивном отношении изменения конфигурации или материала детали значительно облегчают и удешевляют технологический процесс. Пренебрежение подобными «мелочами» нередко сводит на-нет все преимущества намеченного метода изготовления детали.

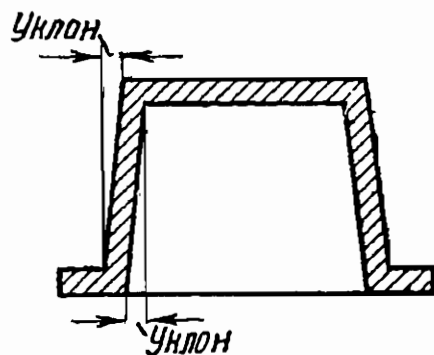
А. Влияние технологических требований на конфигурацию³

Л и т ь е п о д д а в л е н и е м

При оформлении конфигурации деталей, отливаемых под давлением, нужно руководствоваться следующими основными указаниями.

1. Внутренние и наружные поверхности деталей, отливаемых под давлением, следует делать конусными (или с соответствующим уклоном стенок) в целях облегчения удаления отливок из формы (фиг. 167).

Приблизительные значения конусности для отливок из разных металлов приведены в табл. 23.



Фиг. 167.

¹ Величина припуска должна быть больше глубины твердой корки, чтобы режущий инструмент работал по материалу нормального строения. В противном случае режущий инструмент будет весьма быстро изнашиваться.

² Данный вопрос включен в гл. «Заготовка» потому, что при выборе метода изготовления заготовки одновременно определяется в общих чертах и весь технологический процесс.

³ Сноску см. на стр. 172.

Конусность поверхностей и стержней

Наименование групп сплавов	Минимальная толщина стенок в мм	Радиус закругления в мм	Минимальная конусность в % от высоты	
			поверхность	стержни
Оловянные	0,5	0,5	0,1	0,2
Свинцовые	0,75	0,5	0,1	0,2
Цинковые	1,5	1,0	0,2	0,5
Магниевые	2,0	1,0	0,5	0,5
Алюминиевые	2,0	1,0	0,5—1	1,0
Медные	2,5	1,0	0,5—1	1,5
Черные металлы	2,0	1,0	1,0	2,0

2. Для лучшего обтекания сплава в момент заполнения формы и для более легкого удаления отливок из формы целесообразно конструировать детали с закруглениями. Рекомендуемые радиусы закруглений указаны в табл. 23. В случаях, однако, когда это требуется конструктивными условиями, закруглений можно не делать, либо ограничиться закруглениями радиусом хотя бы в десятую миллиметра.

3. Не следует конструировать отливок со стенками, резко отличающимися по толщине друг от друга, так как при этом вследствие неравномерного остывания могут образоваться усадочные трещины и раковины, а также внутренние напряжения.

4. Толщина стенок не должна выходить за определенные минимальные и максимальные пределы, допускаемые условиями отливки.

Предельные значения минимальной толщины стенок установлены вследствие того, что, попадая в узкое пространство между частями формы, образующими отливку, металл быстро застывает и при недостаточной толщине стенок может плохо заполнить форму. Данные о минимальной толщине стенок для отливок из разных металлов содержатся в табл. 23.

1) Einfluss der Gestaltung auf die Fertigung Kosten in der Feinmechanischen Fertigung, „Maschinenbau“, 1936, 483.

2) Einfluss der Fertigung auf die Konstruktion Gestaltung in der Feinmechanischen Fertigung, „Maschinenbau“, 1936, S. 239.

3) Grundsätzliches über die Gestaltung der Preszteile, „Werkstatt und Betrieb“, 1937, H. 5/6.

4) Versugserscheinungen an Preszteilen und ihre Verhütung durch sachgemäße Gestaltung der Arbeitstücken, „Werkstatt und Betrieb“, 1935, H. 13/14.

5) Die Herstellungsmöglichkeiten innen unterschnittener Kunstharz — Pressteile, „Werkstatt und Betrieb“, 1935, H. 5/6.

6) Einfluss der Fertigung auf Konstruktion, „Maschinenbau“, 1927, S. 787.

7) Beeinflussung der Konstruktion in Feinmechanik durch Werkstofffragen, „Feinmechanik und Präzision“, 1933, стр. 33 и 69.

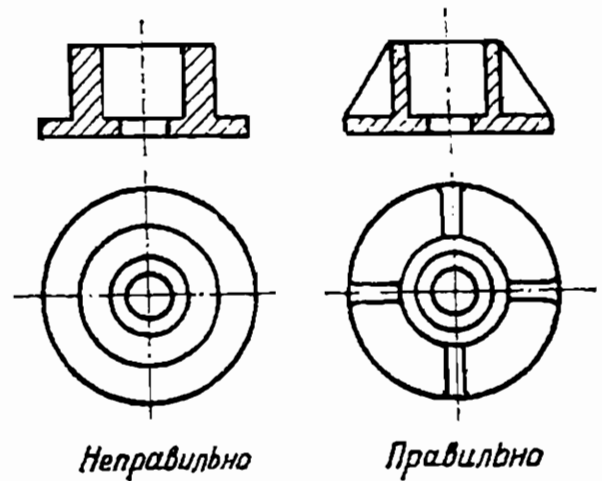
8) Статьи в журн. „Maschinenbau“, 1936, S. 3 и 664.

9) Werkstückzahl und Feinmechanische Gestaltung, T. Z. f. P. M., 1937, № 7/8.

10) Статьи в журн. T. Z. f. P. M., 1937, № 9/10 и № 17/18.

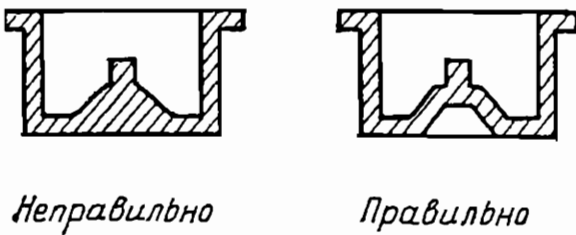
Максимальный предел для толщины стенок зависит от типа машины, но во всяком случае во избежание получения усадочных и газовых пор и раковин не следует конструировать детали, отливаемые под давлением, со стенками толще 6—10 мм.

5. Не следует усиливать прочность детали путем увеличения толщины стенок в местах, испытывающих наибольшие напряжения. При конструировании отливок под давлением повышения прочности следует добиваться путем устройства соответствующих ребер, уголков жесткости, приданием стенкам таврового и коробчатого сечения и т. д. (фиг. 168). В местах, где располагаются отверстия, следует делать приливы.



Фиг. 168.

В качестве общего правила при конструировании отливок под давлением следует избегать скопления материала в отдельных местах во избежание образования усадочных раковин (фиг. 169).

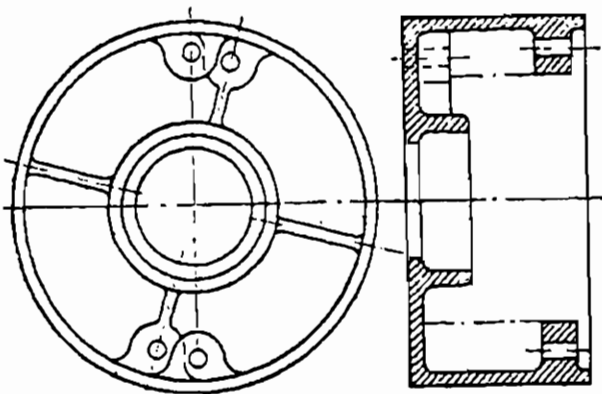


Фиг. 169.

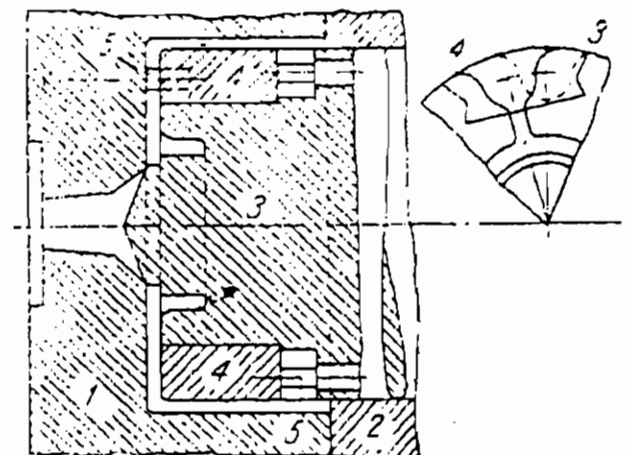
6. При конструировании отливок под давлением, в особенности из цинковых сплавов, необходимо учитывать их последующие деформации. Следует по возможности избегать несимметричных отливок, имеющих тонкие

кронштейны или какие-либо другие части, значительно вынесенные от основной массы металла.

7. Следует по возможности избегать всякого рода выступов и выемок, вызывающих применение составных и подвижных стержней.



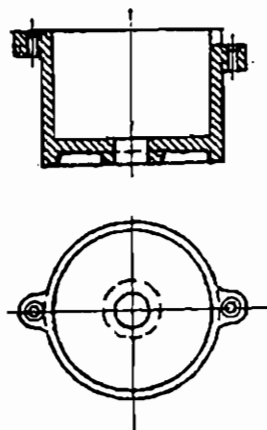
Фиг. 170.



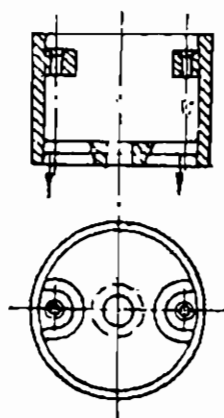
Фиг. 171.

Например, на фиг. 170 показан корпус с лапами, предназначенными для крепления других деталей. Форма для отливки этого корпуса представлена на фиг. 171. Цифрами 1 и 2 обозначены обе половины

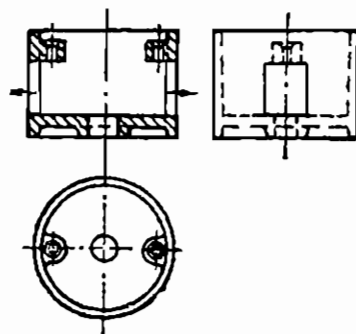
формы. Чтобы отлить лапы, необходимо применить составной стержень со свободными частями 4, направляемыми неподвижными стержнями 5 и ласточкиным хвостом в выступе 3. При раскрывании формы свободные части 4 остаются в детали и удаляются оттуда соответствующим приспособлением. Свободные части 4 необходимо устанавливать отдельно при отливке каждой детали. Чтобы избежать потери времени



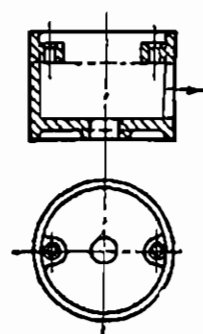
Фиг. 172.



Фиг. 173.



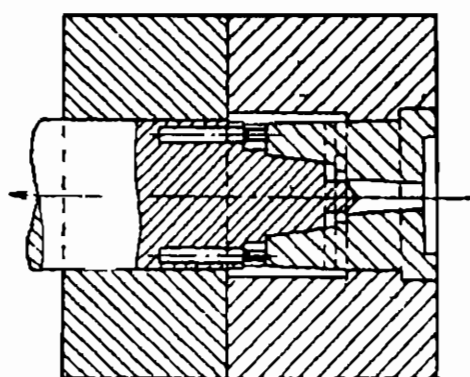
Фиг. 174.



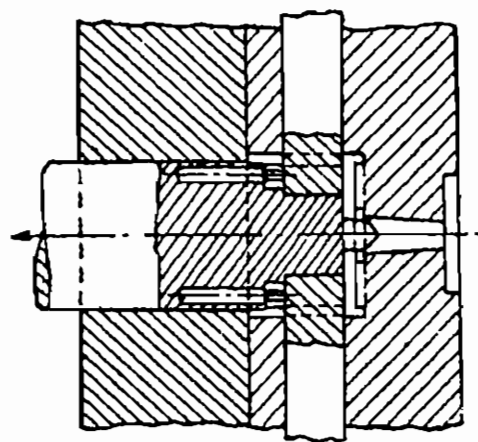
Фиг. 175.

на ожидания, связанные с освобождением свободных частей из отливки, нужно предварительно заготовить большое количество этих частей, соответствующим образом пригнав их к форме. Необходимость применения свободных частей не только удорожает стоимость формы, но и снижает производительность.

Можно значительно упростить процесс отливки детали, изображенной на фиг. 170, если переконструировать ее так, как показано на фиг. 130. Еще лучше вынести лапы наружу (фиг. 172). Если вследствие конструктивных условий ни одно из указанных изменений не-



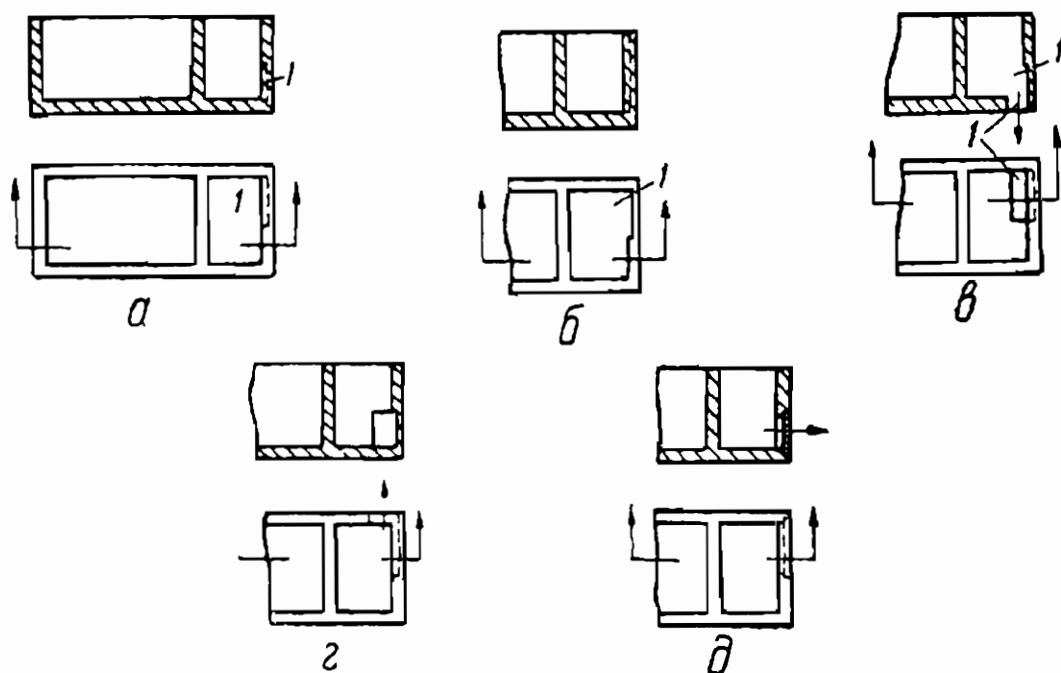
Фиг. 176.



Фиг. 177.

приемлемо, можно попытаться использовать какой-либо из вариантов, показанных на фиг. 173—175. Форма для конструкции, представленной на фиг. 173, показана на фиг. 176. Здесь необходим лишь один подвижной стержень. Если сделать отверстия в боковых стенках, то для отливки детали придется применить форму с двумя подвижными стержнями (фиг. 177).

Для отливки детали, изображенной на фиг. 178, *а*, необходимо применить форму со свободными частями. Этого можно избежать, продолжив выемку доверху (фиг. 178, *б*). Если по конструктивным условиям это недопустимо, целесообразнее все же отлить деталь так, как это показано на фиг. 178, *б*, но верхнюю часть выемки закрыть куском листового железа. Цифрой 1 обозначены отверстия,



Фиг. 178.

предназначенные для вытаскивания стержней. Два последних варианта в отношении стоимости формы и отливки равноценны. Отверстия при всех трех вариантах, если это нужно, могут быть закрыты листовым железом (фиг. 178, *д*).

8. Всякого рода надписи и цифры следует делать выпуклыми.

Холодное штампование из листового материала

Одним из основных источников понижения себестоимости штампуемой детали является сокращение отходов при вырубке. Требование минимального количества отходов может привести либо к полному изменению конфигурации детали (фиг. 179), либо к мелким, совершенно несущественным в конструктивном отношении изменениям, подобно показанным на фиг. 180, либо, наконец, к изменениям размеров. На фиг. 181 показан пример, как координированием размеров деталей удалось вырубать их без отходов.

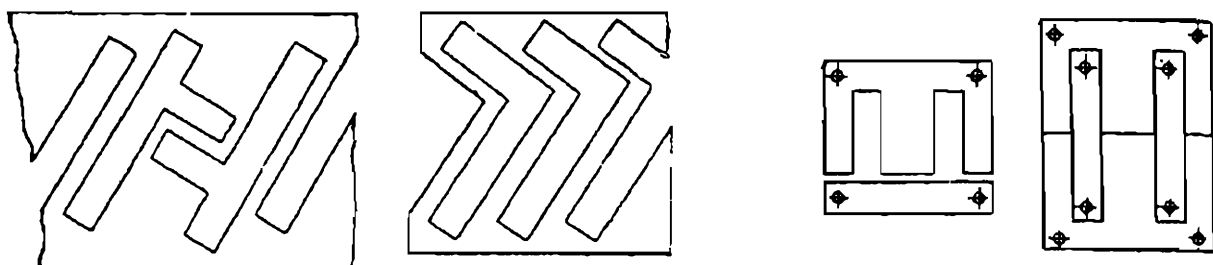
Не менее существенное значение, чем сокращение отходов, имеет понижение расходов на штампы. Допустим, что требуется отштамповать деталь из листового материала с отогнутым в виде угольника краем. Узкие и глубокие вырезы (фиг. 182, *б*) вызывают малую стойкость штампов; при закругленных вырезах (фиг. 182, *а*) удорожается их стоимость. Наиболее рациональными следует считать вырезы прямоугольные, возможно более широкие (фиг. 182, *в*).

В детали, показанной на фиг. 183, достаточно устранить закругления в четырех углах, чтобы значительно понизить стоимость штампа и одновременно снизить расход материала.

При деталях, имеющих симметричную форму, возникают затруднения в тех случаях, когда при установке вырубок в штампы для дальнейшей загибки необходимо выдержать правильное положение



Фиг. 180.

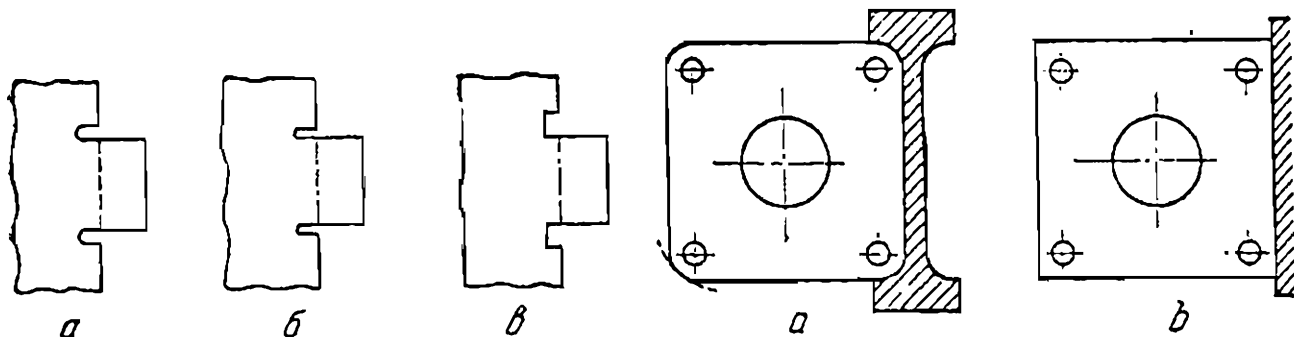


Фиг. 179.

Фиг. 181.

краев. Эти затруднения можно легко устранить, если предусмотреть (фиг. 184) скосы в конструкции деталей (б), вырезы (в) и установочные отверстия (г).

При конструировании деталей, в процессе изготовления которых имеет место загибка, в местах загиба нужно делать соответствующие вырезы (фиг. 185); длина отгибаемого края должна быть не меньше двухкратной (а лучше — трехкратной) толщины материала.



Фиг. 182.

Фиг. 183.

Если нужно отогнуть край у детали, имеющей отверстие, близко расположенное к линии загиба, причем диаметр и положение этого отверстия должны быть выдержаны точно на линии загиба, следует предусмотреть добавочное отверстие (фиг. 186).

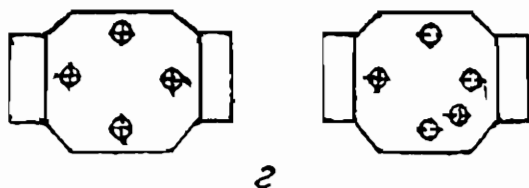
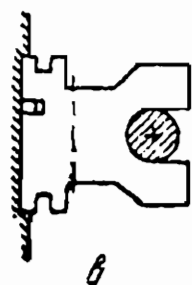
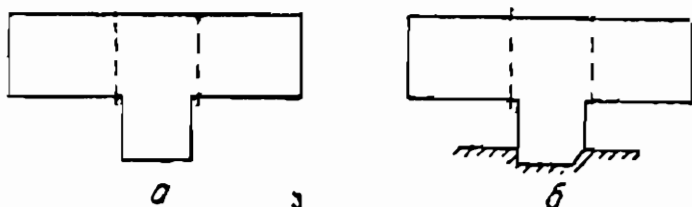
На фиг. 187 показаны три варианта конструктивного оформления одной и той же детали. Для изготовления детали по первому варианту требуются два гибочных штампа. Наиболее рациональной в изготовлении следует считать конструкцию по третьему варианту.

При оформлении конструкций, показанных на фиг. 146, необходимо учитывать, что:

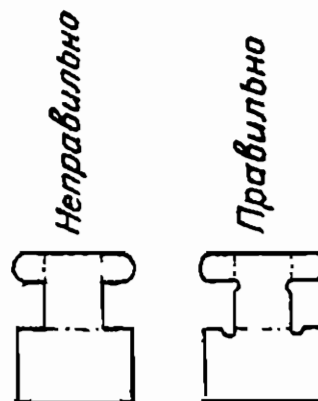
1) высота шипа должна быть не более половины толщины материала;

2) диаметр шипа не следует делать менее половины толщины материала, особенно при тонких листах;

3) диаметр углубления с обратной стороны должен быть обязательно больше диаметра шипа (во избежание среза);

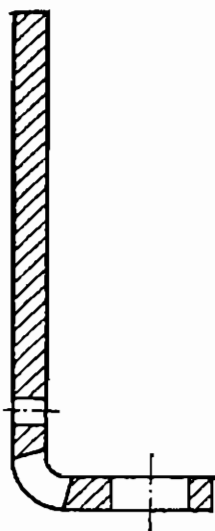


Фиг. 184.

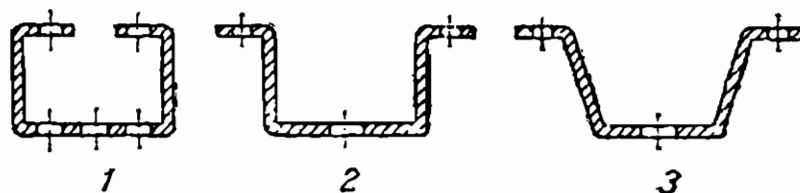


Фиг. 185.

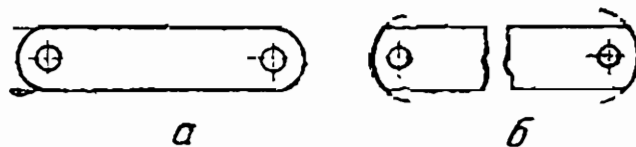
4) если в шипе нужно иметь отверстие, то толщина стенки должна быть приблизительно равна толщине материала или в крайнем случае быть не менее половины толщины материала.



Фиг. 186.



Фиг. 187.

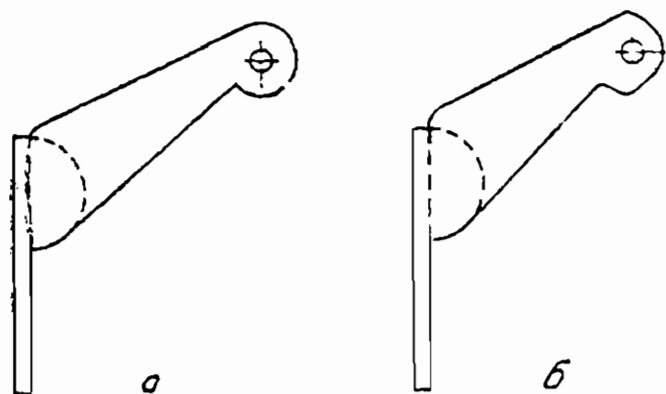


Фиг. 188.

Прежде чем оформить конструкцию детали, необходимо отчетливо выявить самый способ штамповки.

Конфигурация детали, изображенной на фиг. 188, а, с первого взгляда не вызывает никаких опасений. Нужно, однако, учесть, каким способом будет изготавливаться эта деталь. Изменений в конфигурации не потребуется, если вырубку детали по всему контуру про-

изводить с одного удара при помощи фасонного штампа. Если же деталь изготавливается из ленты, необходимо изменить радиус закругления, сделав его больше половины ширины детали. В противном случае вследствие неточностей при направлении ленты может получиться уступ в месте сопряжения закругления с прямолинейным участком контура.



Фиг. 189.

Другой пример показан на фиг. 189, а.

Если отверстия должны быть точно расположены по отношению к наружному контуру, то пробивку их необходимо совместить с вырубанием по контуру, т. е. применить дорогостоящий комбинированный штамп.

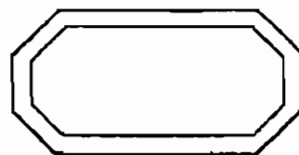
При способе последовательной штамповки отклонения в расположении отверстий по отношению к наружному контуру неизбежны. Эти отклонения будут иметь значительно меньшее значение, если концы деталей сделать не закругленными, а такими, как показано на фиг. 189, б.

При способе последовательной штамповки отклонения в расположении отверстий по отношению к наружному контуру неизбежны. Эти отклонения будут иметь значительно меньшее значение, если концы деталей сделать не закругленными, а такими, как показано на фиг. 189, б.

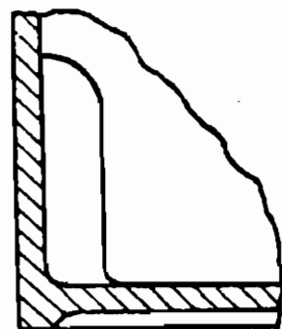
Прессование пластмасс

При оформлении конфигурации деталей, изготавливаемых путем прессования из пластмасс, следует руководствоваться теми же соображениями, что и при отливке под давлением. Необходимо учитывать также ряд обстоятельств, связанных с физико-химическими явлениями, происходящими в процессе прессования.

Для облегчения выемки деталей из прессформ стенки детали следует делать конусными, с уклоном в 2 — 3%. Конусность одновременно уменьшает и потребное давление. При стенках, перпендикулярных дну, необходимо протолкнуть материал сквозь узкое пространство между матрицей и пуансоном, для чего требуется, естественно, большее давление, чем при наклонных стенках.



Фиг. 190.



Фиг. 191.

Весьма существенное значение имеют деформации прессуемой детали, величина которых зависит в первую очередь от конфигурации детали.

Прежде всего деформации затрудняют вынимание детали из прессформы. Например, деталь, показанная на фиг. 190, вследствие неодинаковой длины сторон после раскрытия прессформы может деформироваться так, что ее невозможно будет вынуть из прессформы. Чтобы уменьшить эти искажения, стенки деталей следует усиливать

укрепляющими ребрами. Конфигурация ребра, показанного на фиг. 191, позволяет делать соответствующий шлиц в прессформе при помощи нормальной фрезы.

Ребра не только облегчают вынимание деталей из прессформы, но и препятствуют детали деформироваться во время охлаждения ее после освобождения из прессформы. Можно, разумеется, в известной степени воспрепятствовать подобным искажениям, зажимая горячие еще детали в специальных приспособлениях, но решающее значение имеет правильное оформление конфигурации. Если бы, например, деталь, показанная на фиг. 192, была сконструирована гладкой, доньшко ее после освобождения из прессформы оказалось бы искривленным в сторону выпуклости.

Показанные на фигуре ребра позволяют избежать этого. Ребрами следует также укреплять всякого рода уступы (фиг. 193).

Одно из основных требований, которое следует учитывать при конструировании деталей, прессуемых из пластмасс, заключается в равномерном распределении материала.

Это обуславливается двумя причинами:

1. После освобождения детали из прессформы в ней сохраняется известное количество тепла, которое распределяется примерно пропорционально объему отдельных частей детали. При наличии в отдельных местах скопления материала деформации, происходящие под действием

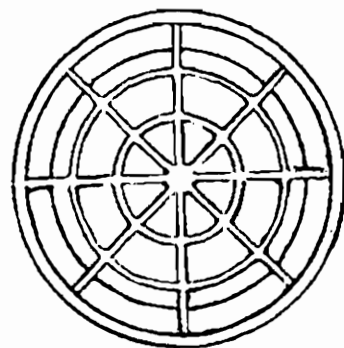
температурных напряжений, могут вызвать не только искажения конфигурации и размеров детали, но и разрывы по наиболее слабым местам.

2. Как указывалось выше, при изготовлении деталей из пластмасс значительная часть времени затрачивается на выдержку, необходимую для осуществления процесса отверждения, в результате которого материал переходит в неплавкое состояние.

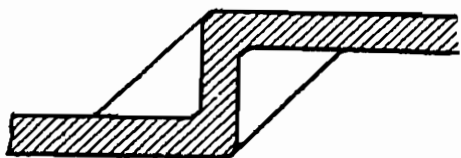
Это время увеличивается почти прямо пропорционально толщине стенки и составляет в среднем 30—60 сек. на каждый миллиметр толщины.

Не рекомендуется для повышения прочности детали увеличивать толщину ее стенок в отдельных местах. Значительно более целесообразным является усиление прочности соответствующими ребрами.

В равной степени нерационально конструировать детали с отдельными приливами (например для отверстий), превышающими нор-



Фиг. 192.



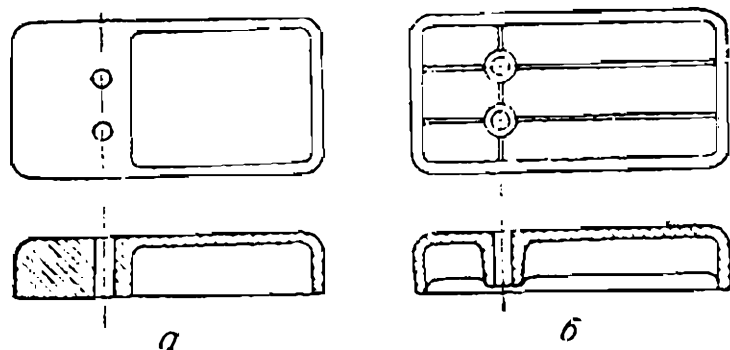
Фиг. 193.



Фиг. 194.

мальную толщину стенок. Борта у деталей следует делать одинаковой толщины со стенкой.

Выступы для отверстий, расположенных у краев детали, лучше отодвигать несколько внутрь, соединяя стенку отверстия со стенками изделия ребром (фиг. 194).



Фиг. 195.

При конструировании плит с выемками толщину стенки целесообразно делать равной толщине дна. Наиболее трудно получать прессованием изделия с толщиной стенок 10 мм и выше.

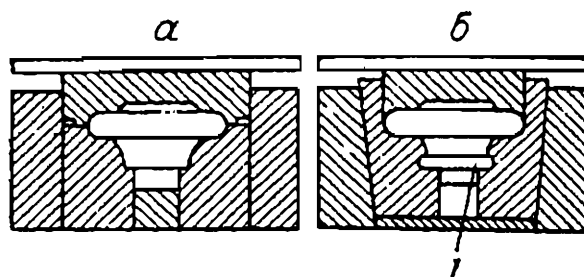
Деталь, показанная на фиг. 195, а, сконструирована неправильно; скопление материала с левой стороны неизбежно вызовет ее искривление.

Значительно более рациональная конструкция, позволяющая одновременно сэкономить и на материале, показанная на фиг. 195, б.

Так же как и при литье под давлением, при конструировании деталей, прессуемых из пластмасс, необходимо избегать всякого рода выступов и выемок, усложняющих и удорожающих прессформу. На фиг. 196 показан пример того, как вследствие конструктивной «мелочи», не имеющей с первого взгляда никакого значения, сильно усложняется как прессформа, так и процесс формовки. При наличии у детали выступа 1 (фиг. 196, б) требуются разъемная прессформа и дополнительная зачистка шва в месте соприкосновения двух половинок прессформы. Изменив конструкцию так, как показано на фиг. 196, а, можно значительно упростить прессформу, причем производительность повысится, а деталь будет получаться чище.

В процессе прессования штифты, образующие отверстия, испытывают большое боковое давление, поэтому следует избегать отверстий, длина которых больше удвоенного диаметра. Если такие отверстия все же необходимы, нижнюю часть их целесообразно усиливать, как показано на фиг. 197.

Не следует располагать отверстий на расстоянии, меньшем 3 мм от края или угла прессованного изделия.



Фиг. 196.

Углы деталей следует делать с закруглениями. Края также следует закруглять за исключением тех случаев, когда они находятся в плоскости разъема прессформ. В последнем случае закругление краев удорожает прессформы, так как, чтобы получить край закругленным, необходимо обеспечить весьма точное направление верхней и нижней частей прессформы.

При конструировании изделия следует предусмотреть линию раздела, получающуюся в месте соприкосновения пуансона и матрицы (фиг. 198).

Накатку, получаемую при прессовании, следует делать прямой, параллельной оси изделия. При прессовании крестообразной накатки требуется более сложная прессформа и, кроме того, рельеф накатки получается нечистым.

Резьбу, получаемую в процессе прессования, следует делать с шагом не менее 1 мм.

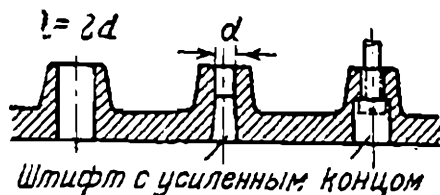
Если необходимо получить более мелкую резьбу, целесообразнее запрессовать в пластмассу заранее нарезанную латунную или железную втулку.

В ряде случаев целесообразно вместо одной детали сложной конфигурации, трудно поддающейся формовке, применять детали (фиг. 199), соединенные между собой следующим образом: сначала прессуют дно 1 и в холодном состоянии вставляют в только что вынутую из прессформы деталь 2. Последняя при охлаждении сжимается и охватывает дно 1. Для большей герметичности соединяемые части могут быть промазаны клеем из искусственных смол.

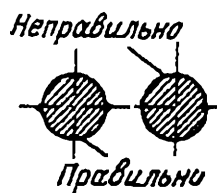
Этот же способ следует применять в тех случаях, когда требуется отпрессовать полые замкнутые детали.

Запрессовка металлических частей для повышения прочности допускается лишь в особых случаях, так как пластмассы и металлы обладают различными коэффициентами линейного расширения, что при наличии температурных колебаний приводит к разрывам и трещинам. Чтобы при запрессовке в пластмассы металлические детали металлические части, подлежащие запрессовке, не сворачивались и не вытаскивались, следует делать на них крестообразную накатку или канавки, а при больших деталях — конусообразные углубления, образуемые спиральным сверлом. Металлические части должны выдерживать давление прессуемого материала и не деформироваться.

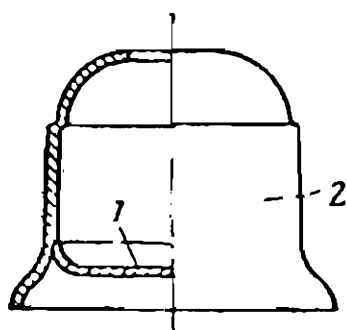
Не следует, по возможности, запрессовывать металлические части, которые должны занять горизонтальное положение. Если избежать этого не представляется возможным, то в изделии следует предусмотреть отверстия для прохождения упорных частей прессформы, поддерживающих запрессовываемую деталь (фиг. 200). В случае необходимости эти отверстия могут быть дополнительно заделаны.



Фиг. 197.



Фиг. 198.

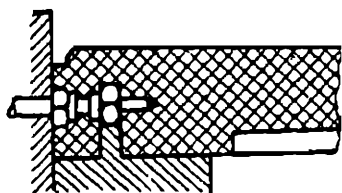


Фиг. 199.

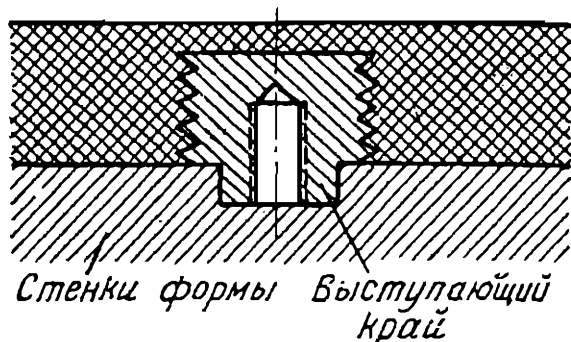
Не следует, по возможности, запрессовывать металлические части, которые должны занять горизонтальное положение. Если избежать этого не представляется возможным, то в изделии следует предусмотреть отверстия для прохождения упорных частей прессформы, поддерживающих запрессовываемую деталь (фиг. 200). В случае необходимости эти отверстия могут быть дополнительно заделаны.

Если отверстия в металлических втулках слишком малы, то при прессовании могут деформироваться удерживающие их в прессформе тонкие штифты. Чтобы избежать этого, детали следует удлинять, как показано на фиг. 201.

Запрессовываемые втулки следует делать с доннышком толщиной 1,5—2 мм, так как в противном случае отверстие будет заливаться прессуемым материалом.



Фиг. 200.



Фиг. 201.

Металлические части не следует располагать ближе 3—5 мм к поверхности прессуемой детали во избежание образования вздутий и отскакивания тонких пленок при ударах. Следует избегать располагать металлические части с небольшими промежутками между ними, так как это ведет к образованию трещин.

Металлические части должны иметь точные размеры, так как в противном случае, чтобы точно дозировать прессуемый материал, количество его нужно было бы каждый раз увеличивать или уменьшать в зависимости от габарита запрессовываемой части.

Обработка резанием

Приведем основные указания в связи с наиболее типичными случаями обработки резанием: вытачивание валиков из пруткового материала, фрезерование в них шпоночных канавок, сверление различных отверстий, обработка резьбы, нарезание зубчатых колес, фрезерование плоскостей и др.

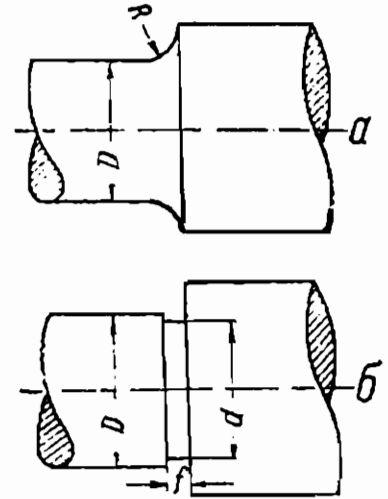
У ступенчатых валиков в местах перехода от одного диаметра к другому обычно делают закругления (фиг. 202). В тех случаях, когда валик должен быть шлифованным, не следует делать закруглений (если только это допустимо по требованиям прочности) и даже целесообразно для выхода круга заменять их выточками глубиной до 0,25 мм и шириной в среднем 1—2,5 мм (фиг. 202, б).

Если необходимо в валике проточить несколько кольцевых канавок, ширину их целесообразно делать одинаковой, так как в этом случае можно будет ограничиться одним лишь резцом и одним мерительным шаблоном.

Размеры шпоночных канавок нормализованы и зависят от диаметров. Если, однако, требуется сделать шпоночные канавки у ступенчатого валика, то при небольшой разнице в диаметрах размеры шпоночных канавок целесообразно брать одинаковыми, что значительно облегчит обработку канавок.

Валики ступенчатой и фасонной формы вытачивают часто фасонным резцом. Если валик (или другая аналогичная деталь) полый, то необходимо предусмотреть достаточную толщину стенок.

Например, деталь, показанную на фиг. 203, *a*, невозможно обработать фасонным резцом, так как вследствие весьма малой толщины стенок она будет деформироваться под действием давления резания. Если наружный диаметр является свободным размером, его следует увеличить (фиг. 203, *б*).

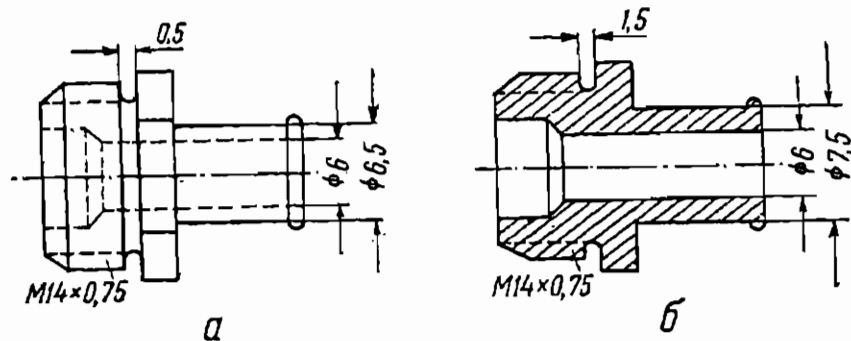


Фиг. 202.

Плоский переход между двумя отверстиями разных диаметров можно получить только зенкерованием или фрезерованием.

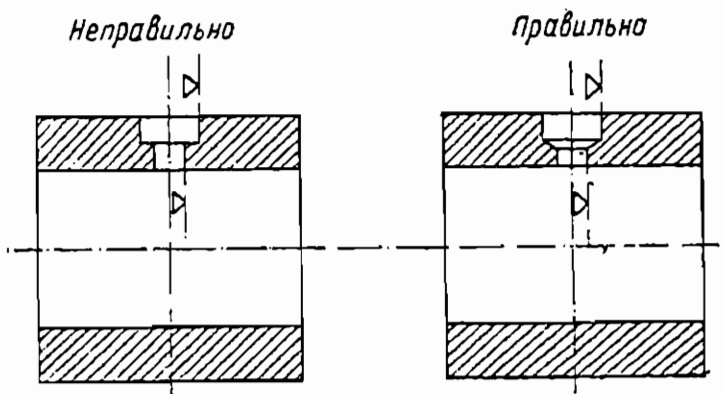
Если необходимость плоского перехода конструктивными соображениями не вызывается, целесообразнее оформить этот переход так, чтобы можно было ограничиться лишь сверлением отверстий (фиг. 204).

Отверстие, показанное на фиг. 205, *a*, можно обработать лишь сложными специальными приспособлениями. Последние, однако,



Фиг. 203.

будут излишними, если ввести конструктивные изменения, показанные на фиг. 205, *б* или *в*.



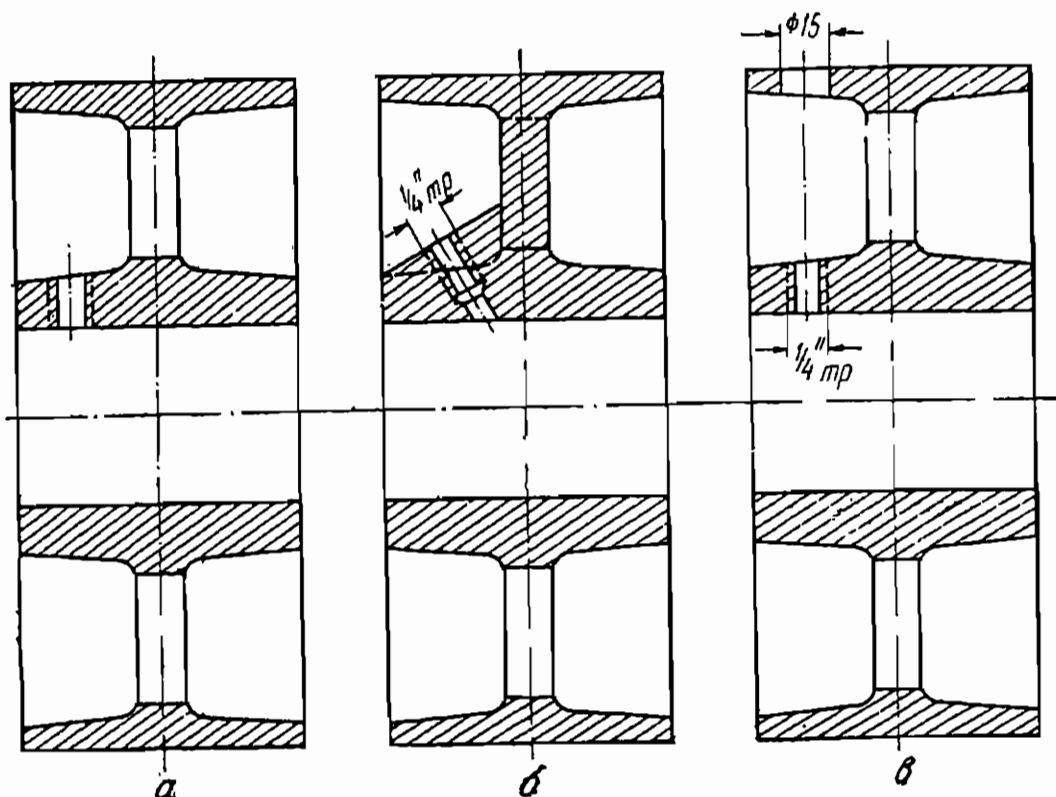
Фиг. 204.

Сверление наклонных отверстий (фиг. 206, *a*) затруднительно вследствие неодинаковой нагрузки на режущие лезвия сверла. Работу можно значительно упростить, если в конструкции детали предусмотреть предварительно фрезеруемый или зенкеруемый уступ (фиг. 206, *б*). Так же следует поступать и при оформлении деталей с отверстиями, распо-

положенными сбоку от диаметральной плоскости (фиг. 206, *в* и *г*).

Отверстия, обрабатываемые путем протягивания, следует конструировать с таким расчетом, чтобы не было одностороннего давления

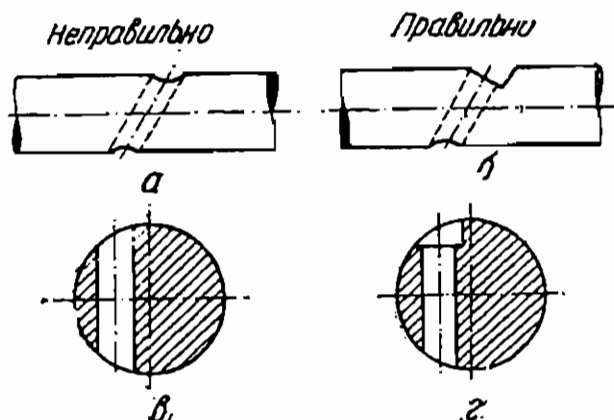
на протяжку (фиг. 207, а и б). Кроме того, следует избегать тонких стенок, в особенности при наличии острых углов у отверстий (фиг. 207, в и г).



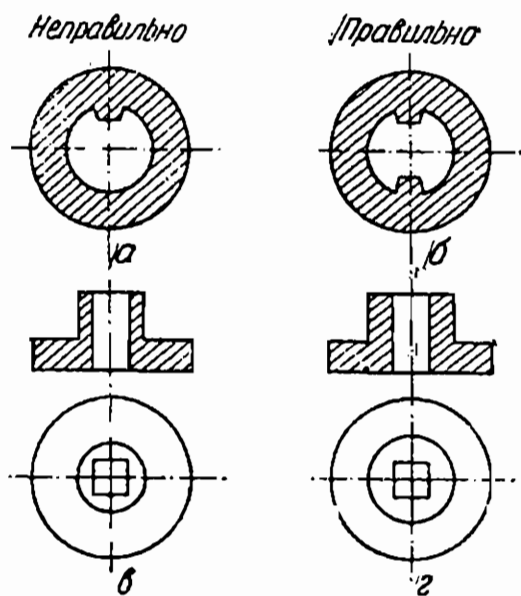
Фиг. 205.

В точном приборостроении окончательно отверстия часто отделяют путем проталкивания стальных шариков. В подобных случаях при наличии боковых отверстий следует делать выточки во избежание увода шариков (фиг. 208).

У детали, показанной на фиг. 209, следует увеличить диаметр первого отверстия для того, чтобы



Фиг. 206.



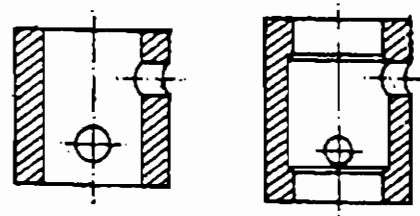
Фиг. 207.

иметь возможность подрезать торец второго отверстия без специального приспособления и без второй установки.

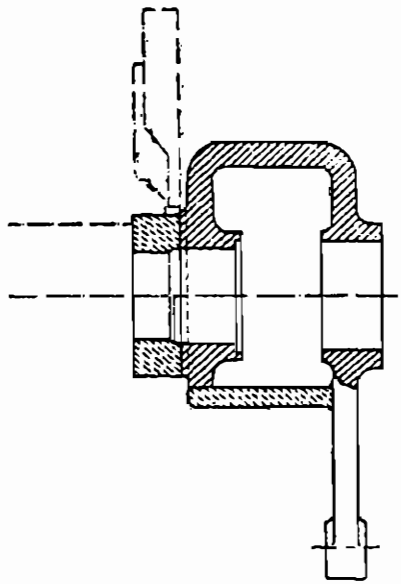
При наличии нескольких отверстий диаметры их следует по возможности унифицировать, чтобы уменьшить количество перестановок в кондукторах и потери времени на смену сверл.

Отверстия следует располагать так, чтобы их можно было сверлить стандартными инструментами. Чтобы, например, просверлить отверстия у детали, показанной на фиг. 210, необходимо применить длинные напаянные сверла, дорогостоящие и легко ломающиеся. Чтобы иметь возможность обойтись стандартными сверлами и одновременно уменьшить количество их поломок, следует эти отверстия раздвинуть.

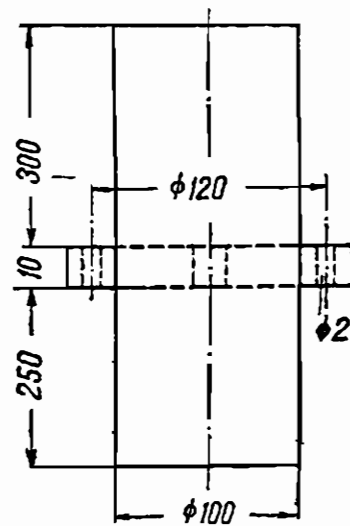
Не следует конструировать деталей с наружной нарезкой, доходящей до заплечика, и внутренней — до конца сквозного отверстия, так как плашки и метчики имеют заборные части, а резцы должны иметь возможность выхода. Нужно оставлять либо ненарезанную часть, либо делать канавки.



Фиг. 208.

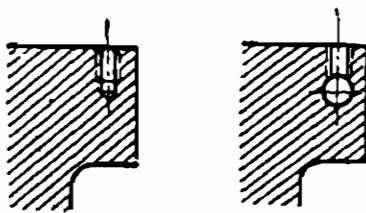


Фиг. 209.



Фиг. 210.

При нарезании резьбы резцом можно ограничиться отверстием для выхода резца, но в этом случае требуется осторожность при работе. Если необходимо нарезать резьбу до конца отверстия, можно значительно уменьшить поломку метчиков, сделав дополнительное отверстие (фиг. 211).



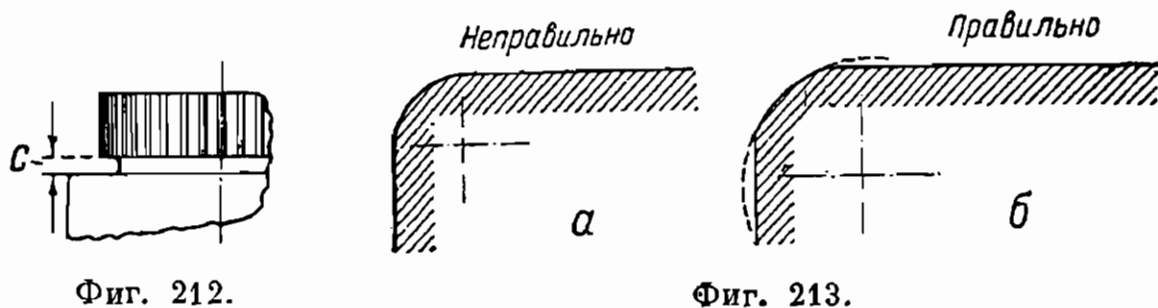
Неправильно Правильно

Фиг. 211.

При конструировании шестерен следует предусматривать возможность выхода режущих инструментов для нарезания зубьев. Расстояние s (фиг. 212) при нарезании червячной или модульной фрезой зависит от ее диаметра, а при долбьяке Феллоу оно должно быть не менее 4—5 мм.

Если деталь имеет несколько плоскостей, целесообразно расположить их на одной высоте. В этом случае можно будет эти плоскости фрезеровать с одной установки.

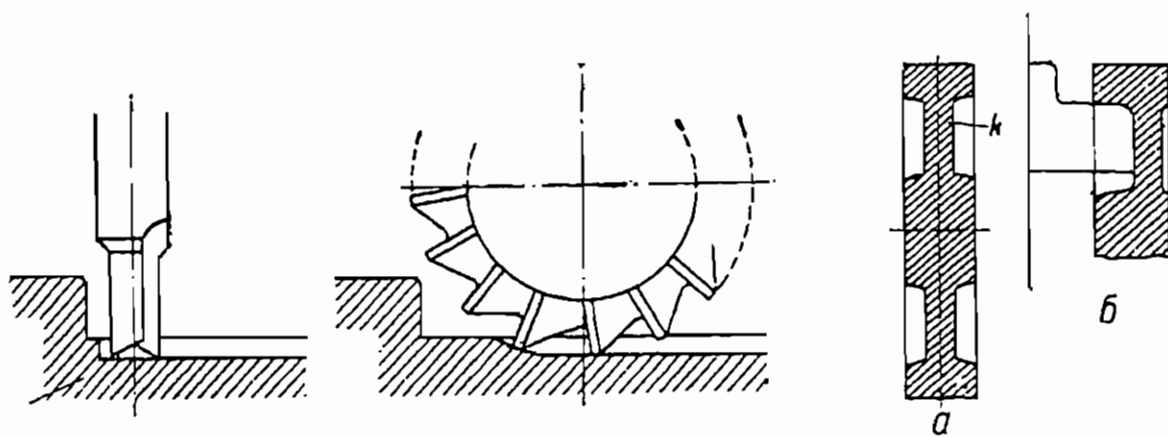
Закругления, подобные показанному на фиг. 213, а, делать нецелесообразно, так как при фрезеровании легко может получиться уступ. Радиус закругления следует увеличить (фиг. 213, б).



Фиг. 212.

Фиг. 213.

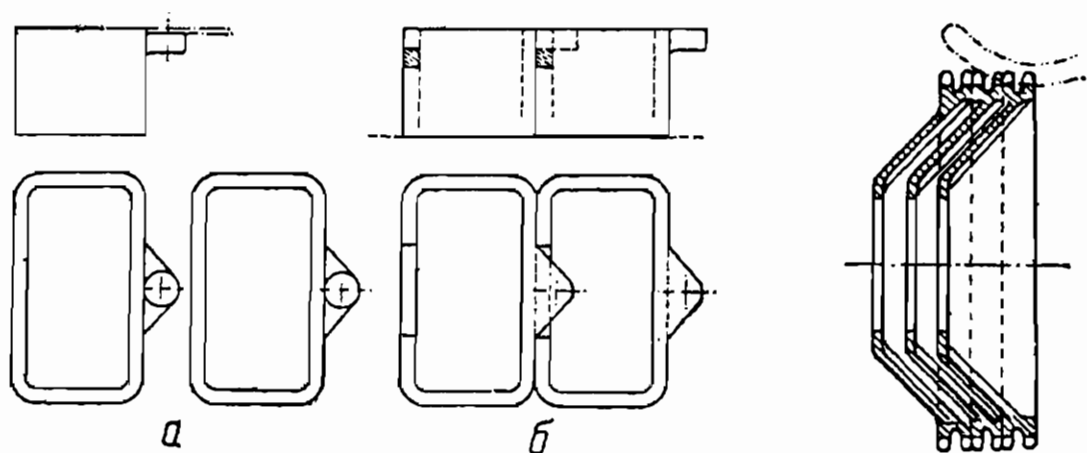
Контур узких шлицов следует делать не вертикальными, а наклонными линиями. Канавки следует оформлять так, чтобы их можно было фрезеровать дисковой фрезой (фиг. 214).



Фиг. 214.

Фиг. 215.

При наличии двух сопрягающихся деталей следует располагать выемки и канавки на валу, а отверстия делать гладкими вследствие сложности обработки и измерения всякого рода выемок и канавок на внутренних поверхностях.



Фиг. 216.

Фиг. 217.

Кроме соображений, связанных непосредственно с обработкой, необходимо учитывать также удобство установки и закрепления детали. Поскольку дать какие-либо общие указания в этом отношении не представляется возможным, приведем в качестве иллюстрации несколько примеров.

В заготовке для шестерни (фиг. 215,а) раньше делали стенку *k* посередине. Малая ширина шестерни не позволяла закреплять ее изнутри. Закрепляли ее за обод снаружи, вследствие чего обработку приходилось вести с двух операций. После того как стенку перенесли к одной стороне, оказалось возможным закреплять заготовку изнутри (фиг. 215,б), что дало возможность заканчивать обработку в одну операцию.

При фрезеровании деталей часто применяют способ последовательной обработки. В этих случаях детали надо конструировать с таким расчетом, чтобы максимально сократить холостой ход. Так, например, у детали, показанной на фиг. 216,а, этого удалось добиться, сделав выемку (фиг. 216,б), а у детали, показанной на фиг. 217, — путем соответствующего координирования размеров.

Б. Учет технологических требований при назначении материала детали

Л и т ь е п о д д а в л е н и е м

Из числа сплавов, отливаемых под давлением, наибольшее применение имеют цинковые сплавы. Отливки из этих сплавов раньше обладали существенным недостатком, который расценивали как свойственный самому процессу отливки под давлением, что препятствовало широкому применению этого способа. Недостаток заключался в том, что у деталей, отлитых под давлением из цинковых сплавов, с течением времени искажалась форма и понижалась прочность. В ряде случаев размеры деталей искажались настолько значительно, что детали разрывались сами собой без приложений нагрузки или делались настолько хрупкими, что разбивались при падении со стола на пол.

Исследованиями, произведенными за последние годы, установлено, что указанный недостаток не является следствием процесса отливки под давлением, а всецело относится к качеству сплавов.

Отливки из цинковых сплавов, применяемых в настоящее время, наряду с высокими качествами в производственном и эксплуатационном отношении, хорошо сохраняют свою форму и основные свойства.

Цинковые сплавы содержат медь (около 3%) и алюминий (около 5%) или олово (6% и выше). В зависимости от содержания того или иного металла цинковые сплавы подразделяются на две основные подгруппы: 1) содержащие алюминий и 2) содержащие олово.

В большинстве случаев для отливок под давлением применяются алюминиево-цинковые сплавы, обладающие весьма высокими механическими свойствами.

Большее распространение имеет сплав, известный в Америке под названием Zamak № 2, содержащий около 3% Cu, 4% Al и 0,1% Mg. Его прочность превосходит прочность чугунного и латунного литья. Кроме того, он обладает хорошими литейными свойствами и отличается постоянством формы и размеров. Хотя первоначальное сжатие

у него больше, чем у других цинковых сплавов, но зато после окончания процесса этого первоначального сжатия форма и размеры отливок остаются почти неизменными. Искажения же, происходящие при первоначальном сжатии, могут быть учтены при изготовлении отливок.

Не следует применять цинковых сплавов для деталей, подвергающихся сильному нагреву, во избежание искажения формы и изменения свойств отливок.

Отливки из цинковых сплавов, содержащих олово, обладают значительно меньшей прочностью, чем отливки из алюминий-цинковых сплавов. Кроме того, производительность при их изготовлении ниже, а стоимость металла выше.

Отливки из цинковых сплавов, содержащих олово, получают с более точными размерами, чем из алюминий-цинковых сплавов. Оловянисто-цинковые сплавы (с большим содержанием олова) целесообразно применять лишь при наличии особо высоких требований в отношении точности и постоянства размеров отливки.

Следующей после цинковых сплавов по своему значению в точном приборостроении является группа алюминиевых сплавов. По сравнению с цинковыми сплавами алюминиевые сплавы обладают следующими преимуществами.

1. При комнатной температуре они полностью сохраняют свою структуру, вследствие чего отливки из алюминиевых сплавов без внешних воздействий почти не изменяются в отношении своих размеров и механических свойств.

2. Алюминиевые сплавы хорошо сопротивляются коррозии. При воздействии на них таких растворов и газов, с которыми алюминий сам по себе может вступить в реакцию, на поверхности отливок образуются нелетучие и нерастворимые в металле соединения, являющиеся плотными защитными покрытиями, предохраняющими металл от дальнейшего разъедания. Следует, правда, отметить, что сопротивляемость коррозии алюминиевых сплавов ниже, чем сопротивляемость чистого алюминия.

3. Детали из алюминиевых сплавов хорошо поддаются механической обработке при условии, что в процессе их отливки были приняты меры к устранению включений песка или осколков материала тигля или печи, а также твердых мест, появляющихся в результате повышенного содержания железа или перегрева металлической ванны.

Недостатки алюминиевых сплавов по сравнению с цинковыми следующие:

- 1) меньшая точность размеров отливок;
- 2) необходимость дополнительной механической обработки;
- 3) более высокая стоимость.

Меньшая точность размеров отливок из алюминиевых сплавов обуславливается высокой рабочей температурой и большой усадкой. Отверстия у алюминиевых отливок должны делаться с большой конусностью. Цилиндрические отверстия детали получают механической обработкой. В алюминиевых сплавах нельзя при отливке

получать отверстий малых диаметров и внутренней резьбы, как в цинковых сплавах.

Высокая стоимость деталей из алюминиевых сплавов, отливаемых под давлением (в среднем на 20—50% выше, чем цинковых), обуславливается необходимостью их последующей механической обработки и более высокой стоимостью форм, изготавливаемых из высоколегированных сталей и обладающих меньшей продолжительностью службы.

Алюминиевые сплавы, применяемые при литье под давлением, в зависимости от преобладания меди или кремния разбиваются на две основные категории: медно-алюминиевые и кремне-алюминиевые.

Медно-алюминиевые сплавы без присадки кремния должны содержать железо в количестве не свыше 1,5—2%, что необходимо для улучшения отливки под давлением. К числу наиболее распространенных медно-алюминиевых сплавов относится так называемый американский сплав, содержащий 8% Си и позволяющий получать отливки с хорошим сопротивлением разрыву и удару. Присадка кремния весьма благоприятно действует на литейные свойства медно-алюминиевых сплавов, но понижает сопротивление разрыву и удлинение. Поэтому содержание кремния в медно-алюминиевых сплавах должно быть минимально необходимым и не должно превосходить 2—3%. Медно-алюминиевые сплавы следует применять для отливок со сравнительно толстыми стенками при наличии высоких требований в отношении механических свойств.

Кремне-алюминиевые сплавы обладают весьма высокими литейными свойствами, вследствие чего должны применяться для тонкостенных отливок сложных форм. Наиболее подходящим сплавом является силумин, содержащий 13% кремния. Для обычных целей применяются сплавы, содержащие 3—5% кремния.

Из прочих сплавов, отливаемых под давлением, можно отметить: оловянистые сплавы, свинцовые, медные, магниевые сплавы (электрон) и чугуны.

Оловянистые сплавы позволяют получать отливки с максимальной точностью. Недостатками оловянистых отливок являются весьма малая прочность, малая устойчивость в отношении температурных воздействий и высокая стоимость. Применяются оловянистые сплавы для отливки деталей, от которых требуется высокая степень точности и чистоты, при отсутствии каких-либо существенных нагрузок; таковы детали электроизмерительных инструментов и аппаратов (например камеры глушителей, вращающиеся конденсаторы и т. д.), детали пишущих машин, регистрирующих аппаратов (например, типовые и штемпельные колеса) и особенно—счетчиков (цифровые колесики, передаточные колесики, станины, стойки подшипников).

Свинцовые сплавы дешевы и хорошо сопротивляются различным химическим воздействиям. Прочность отливок из свинцовых сплавов невелика. Они могут быть использованы для изготовления ненагруженных деталей, а также для подшипников.

Твердость свинцовых сплавов может быть повышена прибавлением сурьмы. Прибавка олова оказывает благоприятное влияние на прочность и литейные свойства свинцовых сплавов.

За последние годы начинает широко применяться отливка под давлением сплавов на медной основе, в особенности латуни. Основные преимущества этих сплавов — высокая прочность и стойкость в отношении химических и атмосферных воздействий. Латунь, содержащая 60% Cu и 40% Zn, обладает хорошей вязкостью и большим удлинением, но мало пригодна для механической обработки. Для отливок, подлежащих дополнительной механической обработке, целесообразно применять мунцевую латунь, содержащую 59% Cu и 0,8—1,9% Pb, менее вязкую, но легче обрабатываемую.

Американская фирма *Dochler Die Casting* производит сплав из меди, кремния и цинка, называемый *Brastil*, который имеет прочность, равную прочности средней углеродистой стали. Этот сплав может быть использован для изделий сложной формы.

Оловянные бронзы для отливок под давлением не применяются; для этого используются кремнистые или алюминиевые бронзы. Алюминиевая бронза *SAE-68* имеет прочность, равную прочности среднеуглеродистой стали, и кроме того, обладает тем преимуществом, что не корродирует под воздействием воды и других жидкостей.

Магниевые сплавы вследствие своей легкости имеют широкое применение в авиационном приборостроении. Для отливки под давлением хорошо подходит сплав, состоящий из магния, 10% алюминия и 0,1% марганца.

Отливки под давлением из чугуна, обладающие после соответствующей термической обработки сопротивлением разрыву в 45—60 кг/мм², в точном приборостроении пока еще не применяются.

Х о л о д н о е ш т а м п о в а н и е л и с т о в о г о м е т а л л а

Способность стали поддаваться штамповке зависит от химического состава ее и от предыдущей механической обработки.

Для вырубki наиболее пригодна жесткая листовая сталь, позволяющая получать изделия с ровными и чистыми краями. При среднем содержании углерода в 0,1% сталь должна иметь твердость по Бринелю 150 — 200 и вязкость по Эриксону 7,8—8,5 мм. С такими же свойствами сталь следует применять и для вытяжек при наличии особо высоких требований в отношении остроты и чистоты краев. Заготовку после вырубki, но до загибки или вытяжки, необходимо предварительно отжечь.

Для обычной вытяжки, когда особых требований к чистоте краев не предъявляется или если края дополнительно подрезаются на станках, следует применять мягкий, возможно более вязкий материал с низким пределом текучести при большом удлинении и с малым пределом упругости.

Факторами, способствующими металлам поддаваться вытяжке, являются:

- 1) отсутствие окалины на наружной поверхности, что достигается протравливанием (декапированием);

- 2) высокая степень гладкости поверхности, так как при грубой поверхности возникают трещины и неравномерная толщина стенок вытяжки;

3) мелкозернистая структура;

4) возможно более низкое содержание фосфора и серы.

Белая жечь и кровельное железо являются худшим листовым материалом для вытяжки, так как их не протравливают перед отжигом.

Для глубоких вытяжек больше всего подходит вальцованное в холодном состоянии листовое железо, а также нержавеющей сталь.

Из цветных металлов наибольшее распространение в точном приборостроении имеет латунь. Это объясняется свойствами, связанными с назначением детали, и хорошей способностью латуни поддаваться различным штамповочным операциям.

Для вырубки плоских деталей больше всего подходит латунь, содержащая около 40% цинка и небольшое количество свинца. Для вытягивания следует применять более вязкие сорта латуни, содержащие 62—68% меди, а при наличии особо высоких требований в отношении вязкости и устойчивости формы — 72%.

Кроме химического состава латуни, необходимо учитывать ее твердость. В зависимости от степени твердости, обусловливаемой наклепом, различается обычно латунь четырех сортов: мягкая, среднетвердая, твердая и твердости пружин, причем соответствующие значения временного сопротивления относятся друг к другу как 1 : 1,2 : 1,4 : 1,8 (см. табл. 24).

Таблица 24

Свойства основных сортов латуни, применяемых при вытяжке

Среднее содержание цинка в %	Сорт латуни	Сопротивление разрыву в кг/мм ²	Удлинение в %	Твердость по Бринелю
63	Мягкая	29—35	45	60—75
	Среднетвердая	35—43	25	75—95
	Твердая	41—50	15	95—120
	Твердости пружин	52—64	5	130—150
67	Мягкая	28—33	40	55—70
	Среднетвердая	33—40	25	70—90
	Твердая	38—46	15	90—110
	Твердости пружин	50—60	5	115—145
72	Мягкая	25—33	40	60
	Среднетвердая	32—39	30	75
	Твердая	33—45	18	95
	Твердости пружин	48—60	8	130

После латуни наибольшее применение в качестве материала для штампуемых деталей в точном приборостроении имеет алюминий, хорошо поддающийся глубокой вытяжке.

Чтобы избежать необходимости дальнейшей отделки, следует применять алюминий возможно более химически чистый (99—99,5%) с гладкой, желательна полированной поверхностью.

Прочие виды цветных металлов по ряду причин (дороговизна, плохая способность поддаваться вытяжке и др.) применяются в точном приборостроении значительно реже.

П р е с с о в а н и е п л а с т м а с с

Пластмасса представляет собою композиционный материал, состоящий из связующего вещества, наполнителя и красителя.

Связующее вещество в основном определяет тип пластмассы. Наполнитель повышает механические свойства пластмассы и обычно удешевляет ее.

Сорт пластмассы выбирается в зависимости от намечаемого способа изготовления детали, требуемых механических, физических и химических свойств и стоимости материала.

Основные сорта пластмасс, предназначенные для горячего прессования, содержат в качестве связующего вещества карболит и бакелит, представляющие собою продукты конденсации фенола и формальдегида. Фенолальдегидные пластические массы называются также часто фенопластами. В качестве наполнителя обычно применяют древесную муку. Для изделий, от которых требуются повышенные механические свойства, следует применять пластмассы с различными волокнистыми наполнителями (лигнер, котонин, измельченная целлюлоза и др.) и обрезками тканей (текстолитовая крошка), а для изделий, работающих при высоких температурах, — асбест.

Недостаточная светостойкость фенольной смолы и ее собственный цвет ограничивают возможность изготовления изделий, цвет которых должен быть светлее, чем естественный цвет фенольной смолы. Подобные изделия следует изготавливать из аминопластов, если от них не требуется высоких диэлектрических и механических свойств.

Из асфальтопечковых масс получают изделия, отличающиеся особо высокой стойкостью к воздействию кислот и щелочей.

При холодном прессовании применяются пластмассы со смолой на крезольной основе, так как на холоду скорости полимеризации фенольной и крезольной смол примерно одинаковы, а последняя значительно дешевле.

Для мелких сложных изделий, изготавливаемых литьем под давлением, следует применять этрол, изготовленный на ацетилцеллюлозе (этрол АС).

Для изготовления деталей, от которых требуется высокая теплоустойчивость, ни этрол, ни какой-либо другой термопласт не применимы; следует применять фенопласты, для литья которых под давлением за последние годы разработан особый способ. Для деталей, отливаемых под давлением, могут быть применены также особые сорта асфальтопечковых масс.

Стоимость материала чаще всего решающего значения не имеет. Для изделий весом менее 100 г выгоднее применять быстро отверждающиеся пластмассы. Высокая стоимость их обычно окупается благодаря увеличению производительности. Отлитые под давлением небольшие детали из этрола обходятся дешевле прессованных, хотя стоимость этрола в 3—4 раза выше, чем стоимость пластмасс из искусственных смол.

Обработка резанием

При конструировании деталей, заготовки которых получают литьем под давлением, штампованием или прессованием из пластмасс, способность материала поддаваться резанию приходится учитывать лишь во вторую очередь.

При изготовлении же деталей из прутковых материалов на автоматах и револьверных станках, где основное технологическое время, затрачиваемое на резание, имеет доминирующее значение, вопрос удобообрабатываемости металла играет весьма существенную, а в тех случаях, когда конструктивные условия позволяют изготовить деталь из различных материалов, — даже решающую роль.

Это обстоятельство явилось причиной создания за последние годы специальных так называемых автоматных сталей, автоматной латуни, автоматных легких сплавов.

Улучшения обрабатываемости и, в частности, ломкости стружки добились путем применения различных присадок. Присадки образуют включения более мягкие или более твердые, чем основная масса. Эти включения равномерно распределяются и обеспечивают сыпучесть стружки.

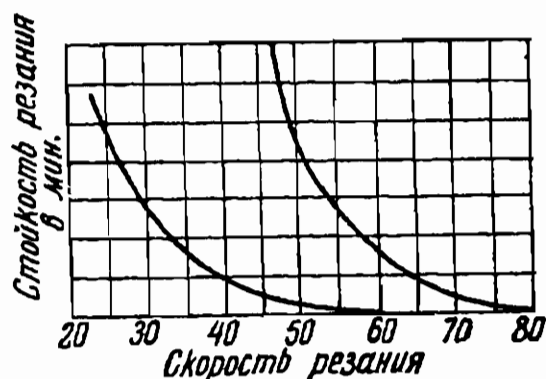
Для стали такими присадками служат сера и фосфор.

— Автоматная сталь содержит 0,07—0,22% серы и 0,07—0,15% фосфора. Содержание углерода в мягких сортах автоматной стали составляет 0,05—0,12%, а в твердых доходит до 1%.

Твердые сорта автоматной стали применяются сравнительно редко (главным образом для осей и трибок часовых механизмов). Автоматная сталь легко окисляется, но хорошо полируется и никелируется.

На фиг. 218 для сравнения приведены две кривые, характеризующие обрабатываемость томасовской и автоматной сталей¹ при глубине резания $t = 2$ мм и подаче $s = 0,11$ мм/об.

Томасовская сталь содержит серы . 0,6—0,8%, фосфора—0,03%
 Автоматная — серы 0,6—0,8%, фосфора—0,18%



Фиг. 218.

¹ По данным Wallichs und Opitz, «Archiv f. b. Eisenhüttenwesen» 1930/31; S. 254.

Автоматная сталь, изготавливаемая Ижевским заводом, характеризуется следующими данными: С — не более 0,17% (содержание С небольшое, чтобы сталь не была слишком хрупкой), Мп — 0,5—0,7%; Si — не более 0,1%; Р — 0,1—0,15%; S — 0,08—0,12%.

При обтачивании этой стали на автомате со скоростью $v = 36$ м/мин при поперечной подаче $s = 0,012$ мм должна получаться чистая поверхность, а чистая резьба — при скорости $v = 10$ м/мин (в обоих случаях охлаждают турбинным маслом с примесью глицерина).

С 1933 г. в СССР начали изготавливать новые сорта улучшенной автоматной стали: успокоенную автоматную сталь и неуспокоенную.

Успокоенная автоматная сталь имеет состав: С $\leq 0,08\%$; Мп — 0,5—0,9%; Si $\leq 0,2\%$; Р — 0,06—0,09%; S — 0,18—0,22%. Состав неуспокоенной стали: Мп — 0,5%; Si $\leq 0,2\%$; Р — 0,05—0,1%; S — 0,16—0,22%.

Неуспокоенная сталь лучше обрабатывается, чем успокоенная, но последняя обладает большим ударным сопротивлением и большим сопротивлением усталости.

Для латуни основной присадкой, улучшающей ее обрабатываемость, является свинец.

В США обществом испытания материалов рекомендуется следующий состав автоматной латуни: Cu — 60,0—63%; Pb — 2,5—3,75%; Fe $\leq 0,15\%$; прочих примесей не более 0,5%; остальное — цинк.

Особенно следует отметить появление в последнее время автоматных легких сплавов на алюминиевой основе¹.

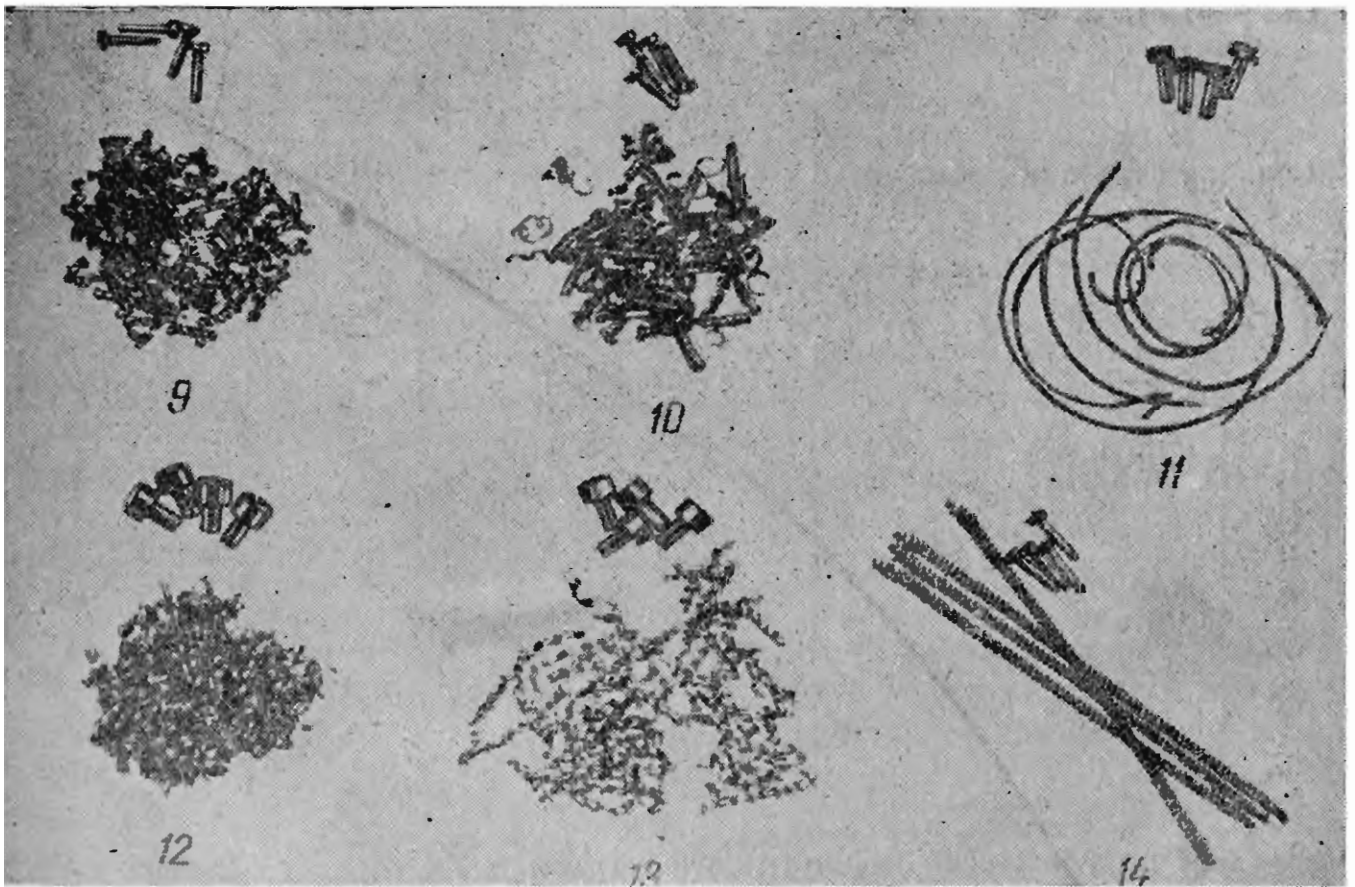
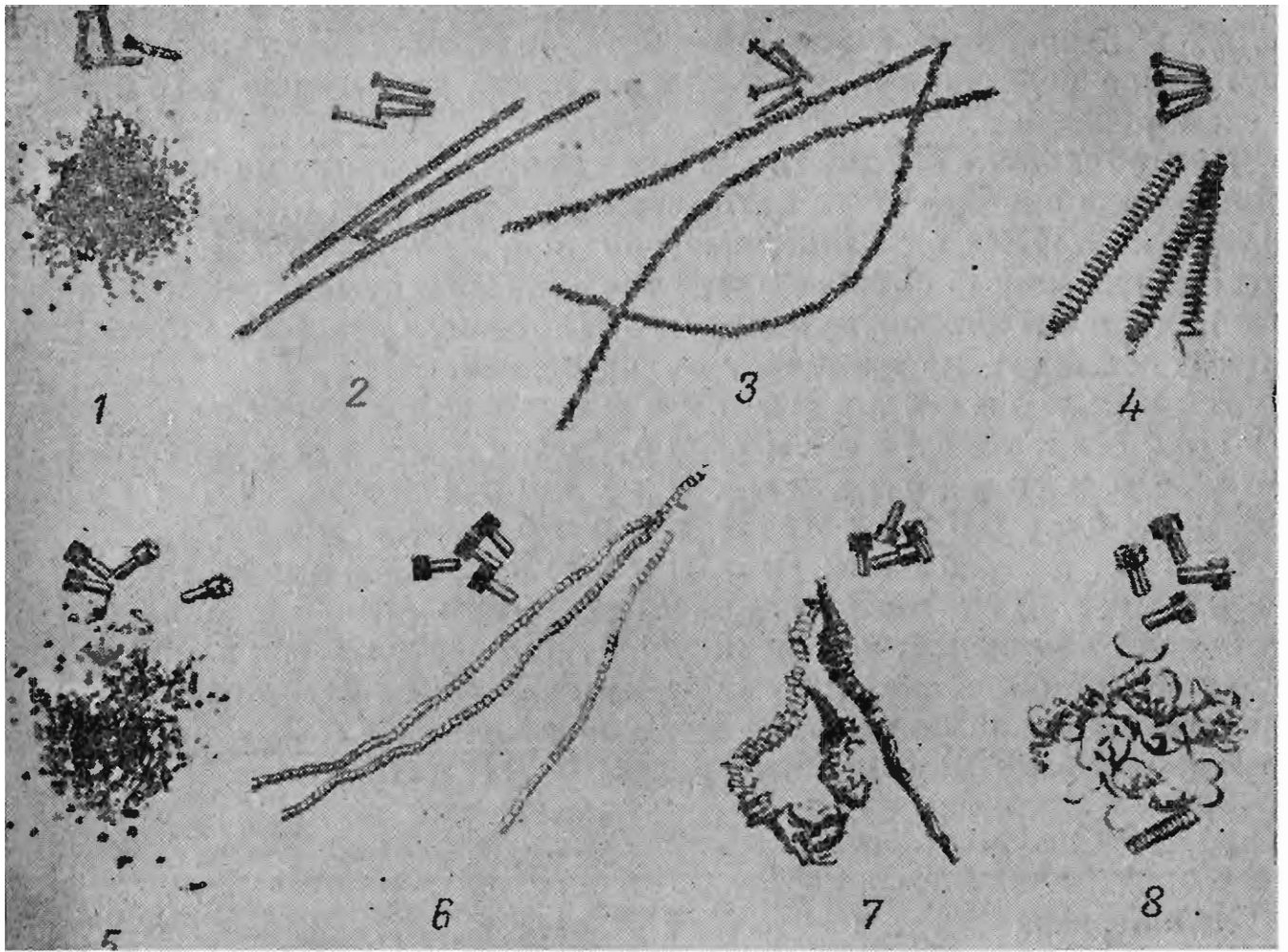
Опыты показали, что обработка сверлением сплава из чистого алюминия с 2—3% свинца отнимает в 3—5 раз меньше времени, чем сверление чистого алюминия.

По немецким данным, наиболее пригодным способом получения автоматных легких сплавов на алюминиевой основе является введение свинца в виде лигатуры Cu-Pb-Ni с 25% Pb.

За последние годы в Америке появились специальные автоматные легкие сплавы на основе Al-Cu-Mg и Al-Zn. Вторая группа — сплавы на основе Al-Zn — имеет ограниченное применение ввиду малой коррозионной стойкости. Кроме того, вследствие большой растворимости цинка в алюминии, сплавы эти пластичны даже при высоком содержании цинка, и потому при их обработке не получается достаточно короткой стружки.

Особенно подходящими для обработки на автоматах являются сплавы на основе Al-Mg. Проведенные опыты показали, что даже при содержании Mg в количестве 3% путем особой обработки можно получить гетерогенную структуру, обеспечивающую получение короткой стружки. Наличие в этих сплавах других добавок, как-то: железа,

¹ Некоторые данные об исследованиях, посвященных обрабатываемости автоматных легких сплавов, см. в статьях; Bohrer, Automaten-Leichtmetalle-Legierungen auf der Grundlagen von Aluminium-Magnesium-Legierungen; G. Mazing, Zur Frage des Automatenaluminiums в журн. «Zeitschrift für Metallkunde», 1936, № 9, September; Opitz u. Zimmermann, Die Automaten Leichtmetalle und ihre Zerspanbarkeit, «VDI», 1937, № 37.



Фиг. 219. Форма стружки, полученной при обработке материалов, указанных в табл. 26.

марганца, хрома, ванадия, титана, молибдена в количествах 0,75% и выше, еще более способствует получению такой стружки. Чем выше содержание магния в сплавах, тем лучше он обрабатывается резанием.

При обработке специальных автоматных сплавов на основе Al-Mg применение специальных автоматных резцов, как это требуется при обработке других алюминиевых сплавов, не является необходимым. Эти сплавы можно обрабатывать теми же инструментами и на тех же станках, как и автоматную латунь. Нарезание резьбы на автоматных легких сплавах не вызывает затруднений.

Если конструктивные условия позволяют изготовить деталь из различных материалов, то в отдельных случаях может оказаться целесообразным применить металл хотя и более дорогой, но лучше поддающийся обработке. Так, например, мелкие детали часто более выгодно изготовлять из латуни, чем из железа¹. Это объясняется тем, что допускаемые при обработке латуни высокие режимы резания могут иметь следствием такое повышение производительности, которое позволит компенсировать повышенные расходы на материал.

№ материала	1	2	3	4	5	6
Скорость резания <i>м/мин</i>	50	50	50	50	100	110
Сечение стружки <i>t × s</i>	1,5 × 0,1	1,5 × 0,1	1,75 × 0,1	1,5 × 0,1	1,5 × 0,05	2 × 0,05
Угол γ	0°	0°	0°	0°	0°	0°
Обрабатываемость	очень хорошая	×			×	
	удовлетворительная		×	×		×
	плохая				×	

¹ Если не учитывать дефицитности латуни.

Методика выбора материала для деталей точного приборостроения в зависимости от удобообрабатываемости разработана проф. А. П. Знаменским¹.

В случаях, когда конструктивные условия определяют выбор сорта материала, чаще всего оказывается все же возможным внести некоторые уточнения, обусловливаемые требованиями удобообрабатываемости. Вопрос об обрабатываемости материалов рассматривается в курсе «Теория резания». В связи с этим мы считаем целесообразным привести лишь некоторые сводные данные исследований, произведенных д-ром Германом Пзиле применительно к условиям точного приборостроения².

В табл. 25 приведены данные об обрабатываемости на автоматах различных прутковых материалов — сталей, а также цветных металлов и их сплавов. Их механические свойства приведены в табл. 27, а размеры и химический состав — в табл. 26. На фиг. 219 показана форма стружки, полученной при обработке. Нумерация на фиг. 219 и табл. 25, 26 и 27 сохранена одна и та же.

При исследованиях были приняты следующие скорости резания: для бронзы, латуни и стали — до 50 м/мин, для алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов — 100 м/мин и выше.

Таблица 25

7	8	9	10	11	12	13	14
100	130	50	50	50	140	110	50
1,5×0,05	2×0,05	1,5×0,1	1,5×0,1	1,5×0,1	2,25×0,05	2×0,05	1,5×0,1
0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
		×			×	×	
×			×				
	×			×			×

¹ А. П. Знаменский, Обрабатываемость резанием, как критерий выбора металлов для деталей изделий точной индустрии, Изд. Ленингр. инст. точной механики и оптики, Л., 1937.

² Журн. «Feinmechanik und Präzision», 1938, № 15.

№ материала	Наименование	Диаметр в мм	Химический состав в %
1	Латунь	55	Cu—58,5 Pb—2,2
2	Латунь	5	Cu—60,5 Pb—0,5
3	Латунь	5,5	Cu—59,5 Pb—0
4	Латунь	5	Cu—64,6 Pb—следы
5	Алюминиевый автоматный сплав	7	Соответственно Al-Cu-Mg по DIN 1713 с добавкой Pb
6	Дуралюмин	8	Cu—от 3,5 до 5,5 Mg—ст 0,2 до 2 Si—от 0,2 до 1,5 Al—остальное
7	Тантал	7	Mg—от 0,5 до 2 Si—от 0,3 до 1,5 Mn—от 0,0 до 1,5 Al—остальное
8	Алюминий	9,5	Al—от 98 до 99
9	Автоматная сталь	5,5	S—0,29 P—0,15
10	Болтовое железо	5,5	S—0,22 P—0,07
11	Мягкое железо	6	S—0,02 P>0,01
12	Автоматный цинковый сплав	10	Cu—2,7 Al—4 Mg—0,04 Bi—добавка, остальное Zn
13	Магнийвин	8	Al—3 Zn—1 Mn—от 0,2 до 0,5, остальное Mg
14	Бронза	5	Cu—94 Sn—6

Таблица 27

№ материала	Наименование	Прочность на растяжение в кг/мм ²	Удлинение в %	Процентное со- кращение площа- ди поперечного сечения
1	Латунь	52	11,5	38
2	Латунь	54	15	54
3	Латунь	49	25	69
4	Латунь	44	17	65
5	Алюминиевый автоматный сплав	47	15	20
6	Дуралюмин	46	15	38
7	Тантал	30	19	51
8	Алюминий	12	18	81
9	Автоматная сталь	71	7	41
10	Болтовое железо	52	14	58
11	Болтовое мягкое железо	53	11	67
12	Автоматный цинковый сплав	32	8	13
13	Магний	28	15	43
14	Бронза	81	6	71

ГЛАВА ВТОРАЯ

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

В настоящей главе содержатся указания по решению основных технологических задач, возникающих при механической обработке общих деталей точного приборостроения. Классы, объединяющие эти детали, разбиты на три группы. К первой группе относятся оси, втулки и диски, ко второй группе — лимбы, шестерни, эксцентрики, кулачки, винты и гайки, к третьей группе — платинки.

Такая разбивка обусловливается тем, что при построении технологических процессов для деталей второй группы приходится решать те же технологические задачи, что и для деталей первой группы, но кроме того, в каждом отдельном случае добавляется новая технологическая задача, характерная для данного класса. Так, например, при изготовлении шестерен необходимо обработать наружную цилиндрическую поверхность и отверстие и обеспечить их соосность, т. е. решить ту же задачу, что и для втулок.

Новой, характерной для класса шестерен технологической задачей является получение зубьев и обеспечение соосности начального цилиндра с отверстием.

Для эксцентриков характерной технологической задачей является соблюдение расстояния между осями (эксцентриситета), для кулачков — получение криволинейной поверхности и т. д.

Технологические задачи для деталей, относимых к классу платинок, существенно отличны от технологических задач для деталей первых двух групп.

Так как к изучению настоящего курса студенты приступают после прохождения курсов, посвященных станкам, инструментам, теории резания и допускам, мы старались, по возможности, избежать повторения сведений, излагаемых в указанных курсах¹. Лишь в порядке отдельных исключений приводятся краткие описания станков, не охватываемых соответствующими учебными пособиями.

I. ОСИ, ВТУЛКИ И ДИСКИ

А. Выбор типа станка

Основная часть процесса обработки осей и втулок выполняется обычно на станках токарного типа — токарных, токарно-револьверных или на автоматах.

¹ В равной степени не рассматриваются и вопросы измерений, так как они выделены в особый курс «Техника измерений».

При выполнении операции, состоящей из нескольких переходов, на токарном станке с закреплением резца при помощи солдатика при каждом переходе необходимо сменять резец и производить установку на стружку. Кроме того, при обработке на токарных станках малых деталей невозможно использовать (без применения особых устройств) такие способы уменьшения вспомогательного времени, как совмещение переходов и перекрытие ручных приемов.

При работе на станках с поворотной резцовой головкой время на смену инструментов значительно сокращается. Применяв упоры, мы можем использовать принцип работы на настроенном станке, не разбивая технологического процесса на отдельные операции. Этот метод пригоден, однако, лишь при деталях несложной формы, обработка которых не требует большого количества различных инструментов.

Вследствие изложенного обработка на токарных станках не входит в число основных методов изготовления деталей точных приборов. Область применения токарных станков в точном приборостроении ограничивается преимущественно производствами индивидуального типа и выполнением отдельных операций, предназначенных для:

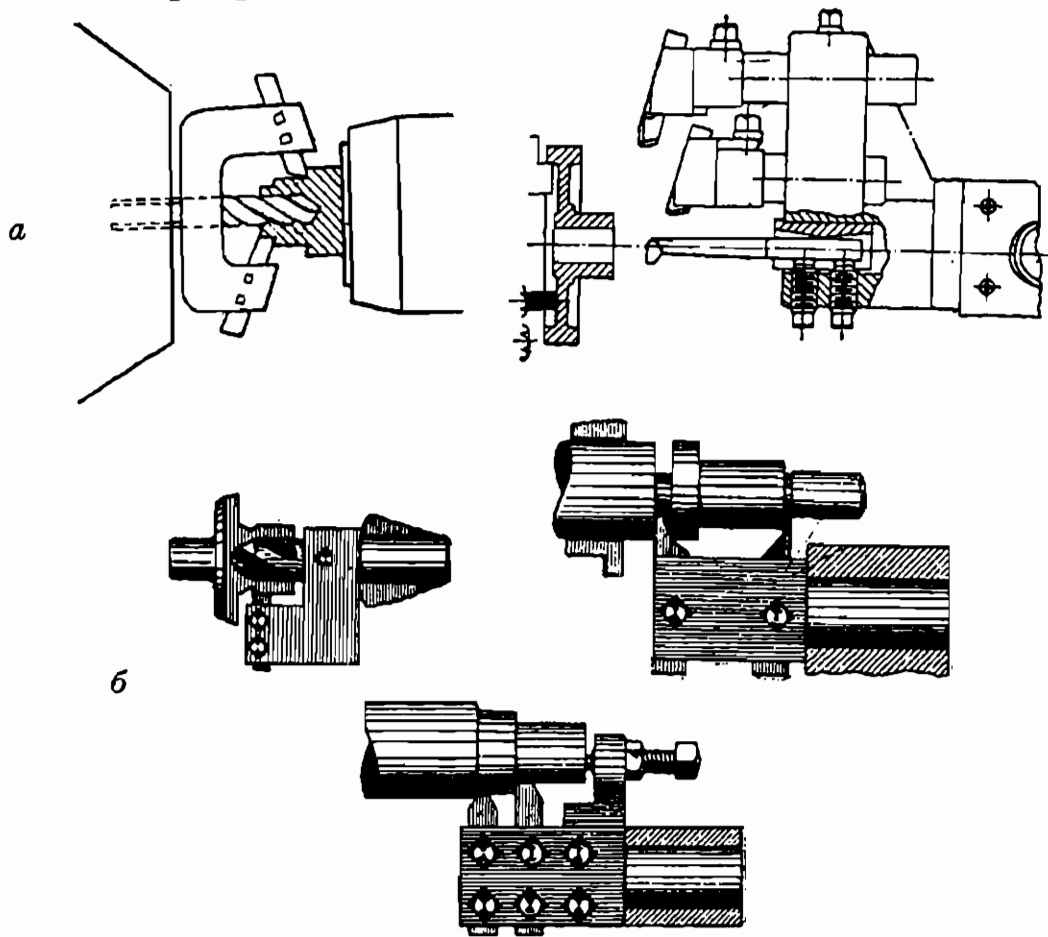
- 1) дополнительной (вторичной) обработки в целях повышения точности отдельных элементов деталей, изготовленных на револьверных станках или автоматах;
- 2) зачистки неровностей, оставшихся после отрезки на торцах деталей, изготовленных на револьверных станках и автоматах;
- 3) обработки отдельных элементов (по сфере, по конусу, точной резьбы и т. п.), получение которых при основной операции, выполняемой на револьверном станке или автомате, не рационально или невозможно.

Работа на револьверных станках по сравнению с работой на токарных имеет следующие преимущества:

- 1) отпадает время установки на стружку, так как револьверные станки по своему устройству предназначены для работы по принципу автоматического получения размеров;
- 2) время, затрачиваемое на смену инструмента, заменяется временем, потребным для поворота револьверной головки; по нормативам вспомогательного времени НКМ и НКОП время смены проходного резца при токарных станках составляет 0,5 мин., время поворота револьверной головки — 0,02 мин.;
- 3) создаются благоприятные условия для совмещения переходов, которое может быть осуществлено путем обработки детали одновременно несколькими инструментами, закрепленными в револьверной головке, либо одновременной обработки инструментами, закрепленными в револьверной головке и в поперечном супорте (фиг. 220,а и 220,б).

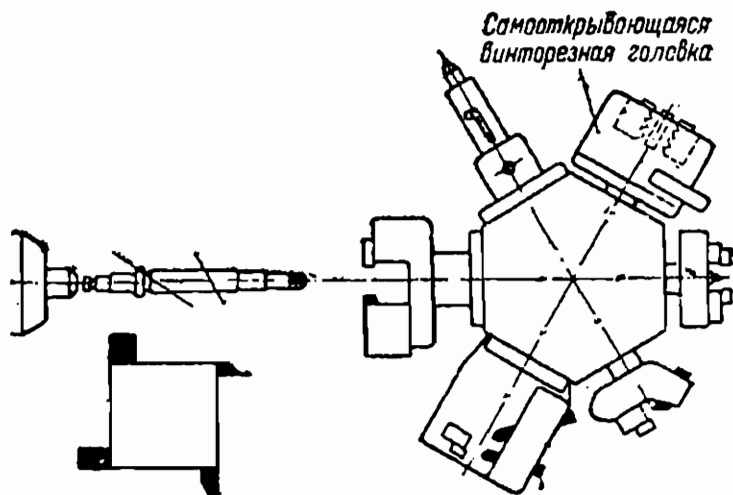
Обработка на револьверных станках широко применяется на приборостроительных предприятиях серийного типа. Вопрос о целесообразности применения револьверного станка при небольших партиях зависит от времени, затрачиваемого на настройку.

Помимо применения эталонов при настройке и выполнения ее в нерабочее время при револьверных работах, можно использовать следующие мероприятия:



Фиг. 220. Одновременная обработка на револьверном станке несколькими резцами.

1. Метод постоянных настроек, имеющий особенно существенное значение в условиях мелкосерийного производства и заключающийся в следующем.



Фиг. 221. Постоянная настройка.

Работы планируются так, чтобы каждый отдельный станок был загружен операциями, требующими по возможности одинакового расположения инструментов. Державки для инструментов располагаются с таким расчетом, чтобы при переходе от обработки одной детали к другой не было необходимости менять их. Если при

какой-либо из операций та или иная державка оказывается ненужной, снимать ее не следует.

Например, если из пруткового материала на предприятии изготавливается ряд различных валиков, имеющих сходную конфигурацию,

можно установить в револьверной головке набор державок, указанных на фиг. 221. При переходе к новой операции сменяются лишь инструменты, показанные черным.

2. При сложных деталях, для обработки которых необходимо установить много инструментов, вследствие чего настройка требует затраты очень большого количества времени, может быть применен следующий метод.

При переходе от одной операции к другой снимается револьверная головка и сохраняется вместе с закрепленными на ней инструментами как одно целое до того времени, когда в обработку поступит новая партия деталей для этой же операции. На место снятой головки ставится запасная. Целесообразность применения этого метода обуславливается тем, что в ряде случаев на смену револьверной головки затрачивается меньше времени, чем на перенастройку станка.

3. При обработке деталей простой конфигурации можно применить метод двойных настроек, т. е. установить в револьверной головке два комплекта инструментов, потребных для обработки детали. При этом методе отпадают холостые повороты револьверной головки.

Еще больше, чем при обработке на револьверном станке, сокращается вспомогательное время при обработке на автомате, так как закрепление детали, смена режущих инструментов, а также все холостые перемещения производятся автоматически с ускоренным ходом.

Снижает стоимость обработки здесь также и то обстоятельство, что один рабочий может обслуживать несколько автоматов.

Кроме того, при обработке на автоматах в большей степени можно использовать совмещение переходов, обработку нескольких деталей с одной установки и перекрытие вспомогательного времени машинным.

С другой стороны, при решении вопроса о целесообразности применения автомата в условиях серийного производства необходимо в каждом отдельном случае учитывать более высокие, чем при револьверных работах, расходы на наладку и стоимость изготовления кулачков.

Преимущества обработки на автоматах сказываются тем больше, чем меньше размеры деталей и чем меньше, следовательно, основное технологическое время. Если в машиностроении применение автоматов ограничивается обычно сравнительно узким кругом небольших деталей, преимущественно в производствах массового характера, то в области точного приборостроения обработка на автоматах является наиболее целесообразным способом изготовления таких деталей, как валики, втулки, винты и т. п. даже в условиях серийного производства небольшими партиями. Фактором, ограничивающим возможность применения автоматов там, где экономически это вполне целесообразно, нередко является точность обработки. Более сложный

по своему устройству, чем токарный или револьверный станок, автомат при прочих равных условиях имеет большее количество источников, вызывающих погрешности при обработке. В частности, следует отметить погрешности, обусловливаемые неизбежными неточностями изготовления кулачков. Вследствие изложенного обработка на автоматах в ряде предприятий применяется лишь для изготовления деталей, размеры которых могут колебаться в пределах сравнительно широких допусков (по 4-му и более грубым классом точности).

В случаях, когда к размерам обрабатываемых деталей предъявляются высокие требования в отношении точности обработки, от применения автоматов нередко отказываются и либо полностью осуществляют операции на прецизионном токарном станке, либо прибегают к смешанному методу обработки: деталь обрабатывается на автомате, причем по поверхности, размер которой должен быть выдержан с особой точностью, оставляется соответствующий припуск. Этот размер доводится затем отдельно на токарном станке.

В области точного приборостроения в настоящее время широко распространены детали, обрабатываемые полностью или частично на токарных станках лишь потому, что при помощи автоматов кажется невозможным выдержать требуемую точность обработки.

Создание высокопрецизионных автоматов типа Торнос, Бехлер и др. позволило изготавливать в одну операцию детали с допуском 5—10 μ , ранее подвергавшиеся после автоматной обработки многочисленным вторичным операциям на токарных станках (например, трибка часового механизма).

Стремление избавиться от этих вторичных операций при применении автоматов обычного, не прецизионного, типа имело следствием на ряде американских приборостроительных предприятий разработку особых методов построения автоматных операций, основанных на:

1) более детальной, чем обычно, разработке вопроса о содержании и чередовании переходов, более тщательной настройке, применении поддерживающих устройств, уменьшающих деформации детали;

2) применении специальных устройств, исключающих влияние неточностей станка на точность обработки.

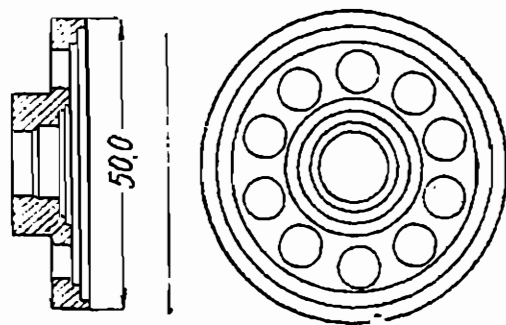
Весьма показательным в этом отношении является опыт фирмы «Weston Electrical Instrument Corporation», которая при обработке деталей электроизмерительных приборов на обычных автоматах Броун-Шарпа добилась соблюдения допусков примерно по 2-му классу точности.

На автоматах токарного (не револьверного) типа можно обрабатывать лишь детали несложной конфигурации, не требующие большого количества инструментов. Зато вспомогательное время при токарных автоматах в среднем на 30% меньше, чем при револьверных.

Вследствие этого в ряде случаев может оказаться целесообразным выделить в отдельную операцию, осуществляемую на соответствующем станке, тот из переходов, включение которого в операцию, выполняемую на токарном автомате, невозможно. В частности, обработку резьбы часто переносят на специальный станок.

При сопоставлении двух вариантов: первого — на токарном автомате с выделением какого-либо из переходов в отдельную операцию и второго — на револьверном автомате в одну операцию необходимо учесть, что стоимость станко-часа при работе на простом станке для обработки резьбы и т. п. обычно значительно ниже, чем стоимость станко-часа при работе на револьверном автомате.

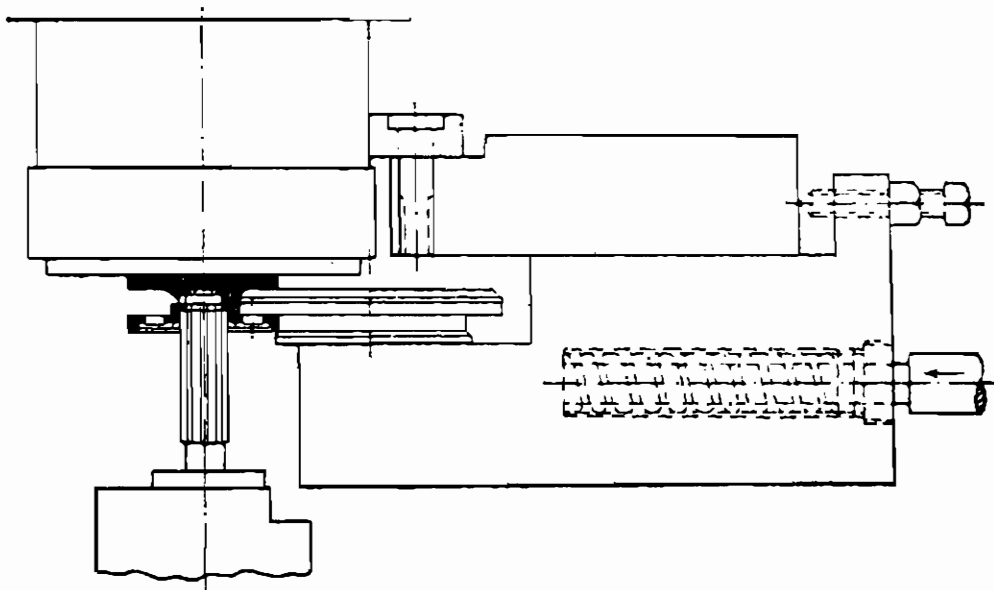
При разрешении вопроса о том, на каком автомате целесообразнее выполнить данную операцию — одношпиндельном или многошпиндельном, исходят обычно из предпосылки, что многошпиндельный автомат, будучи производительнее одношпиндельного, уступает последнему в отношении точности обработки. Это объясняется тем, что кроме погрешностей, наблюдающихся и при обработке на одношпиндельном автомате, при обработке на многошпиндельном автомате добавляется еще погрешность, обуславливаемая неточностями



Фиг. 222.

в положении шпинделей. Следует, однако, отметить, что этот недостаток можно устранить, воспользовавшись методом, применяемым упомянутой выше фирмой «Weston Electrical Instrument Corporation».

В качестве примера рассмотрим обработку детали, показанной на фиг. 222. Вначале деталь обрабатывали последовательно на токарном и сверлильном станках. После переноса работы на многошпиндельный автомат неточности (при обточке детали фасонным



Фиг. 223.

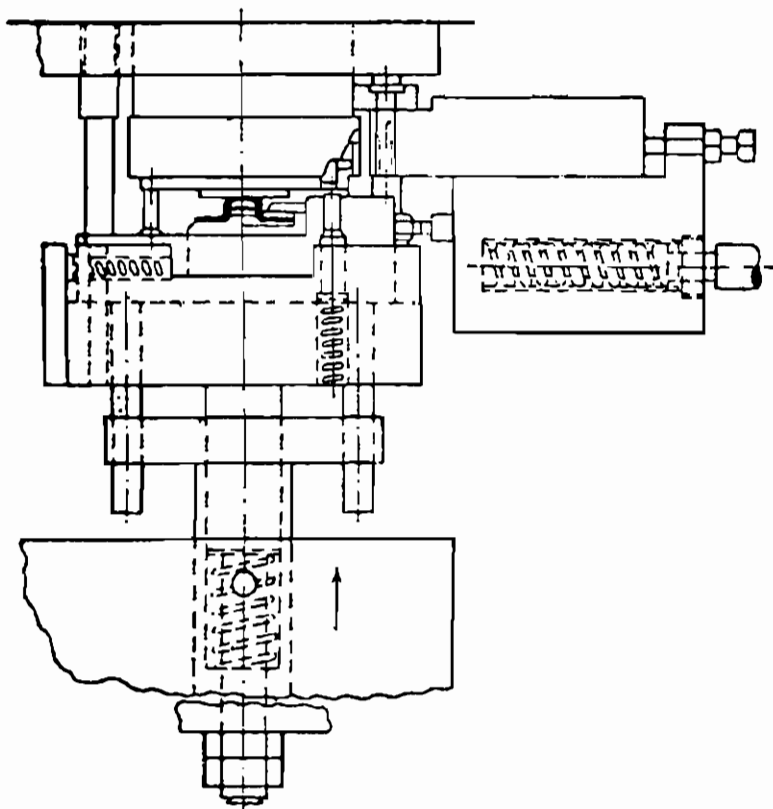
резцом), происходящие вследствие неправильного положения шпинделей, устранили тем, что концы последних точно отшлифовали по одному диаметру (фиг. 223). На поперечных суппортах были установлены покоящиеся в шарикоподшипниках ролики, упирающиеся в концы шпинделей. Контакт обеспечивался тугой пружиной, расположенной между рычагом соответствующего кулака и суппортом.

Независимо от положения шпинделя относительное расположение шпинделей и ролика, а следовательно, детали и резца, оставалось неизменным. Неточности в положении шпинделей благодаря этому на точности обработки не сказывались.

Далее при обработке той же детали применили способ, показанный на фиг. 224.

Параллельность торцевых плоскостей фланца достигается путем одновременной подрезки их резцами, закрепленными в ползуне, перемещающемся по основному супорту.

Положение резцов в продольном направлении определяется упорами, укрепленными в шпиндельном барабане. После соприкосновения с указанными упорами резцедержатель удерживается в по-



Фиг. 224.

стоянном положении при помощи пружины, помещенной между ним и основным супортом.

Подрезные резцы перемещаются при помощи поперечного супорта, подобного описанному выше.

Продольная игра в процессе подрезки уничтожается пружинящими плунжерами, упирающимися в кольцо упорного шарикового подшипника на конце шпинделя.

Используя описанный принцип, можно вести обработку на многошпиндельном автомате со степенью точности, не уступающей точности обработки на одношпиндельном автомате.

Переходя к вопросу о производительности, укажем некоторые положения общего характера, которые следует учитывать при сопоставлении одношпиндельного и многошпиндельного автоматов.

При одношпиндельных автоматах время обработки представляет суммарное время, потребное для осуществления отдельных несовместимых переходов. При многошпиндельных автоматах время обработки равно времени, затрачиваемому на наиболее продолжительный переход. В ряде случаев, разделяя переход на два, это время можно значительно уменьшить. Это возможно, например, при обтачивании длинных деталей или сверлении глубоких отверстий.

Каждый из указанных типов станков имеет свою область применения, хотя резкой границы между ними провести невозможно. В некоторых случаях преимущества в отношении производительности могут оказаться и не на стороне многошпиндельного автомата. На-

пример, при обтачивании мелких латунных деталей, когда требуется большое число оборотов шпинделя, наиболее подходящим является легкий одношпиндельный автомат. Многошпиндельный автомат, обладающий зубчатой передачей к шпинделям, не приспособлен к столь высоким скоростям. Скорость поворота при многошпиндельных станках ограничена, так как вследствие веса соответствующих устройств возникает сила инерции, преодоление которой необходимо в начале поворота; конец поворота также должен происходить без толчков.

При обтачивании мелких латунных или стальных деталей, в особенности при отсутствии значительных перемещений инструментов в продольном направлении (обтачивание на большой длине или сверление глубоких отверстий), когда холостое время составляет значительный процент, выгоднее применять одношпиндельные станки. Наоборот, при продолжительном продольном обтачивании и сверлении, или если приходится снимать много материала фасонным резцом, более подходящим является многошпиндельный автомат.

Некоторые многошпиндельные автоматы специально приспособлены для обработки мелких деталей, и повороты шпинделей совершаются чрезвычайно быстро. Существуют модели (для диаметров прутка максимум $1/2''$), у которых время поворота ограничивается одной секундой.

Если деталь решено обрабатывать на многошпиндельном автомате, нужно разрешить еще вопрос, какой тип многошпиндельного автомата является более целесообразным — 4- или 6-шпиндельный.

6-шпиндельный автомат имеет преимущества по сравнению с 4-шпиндельным в следующих случаях.

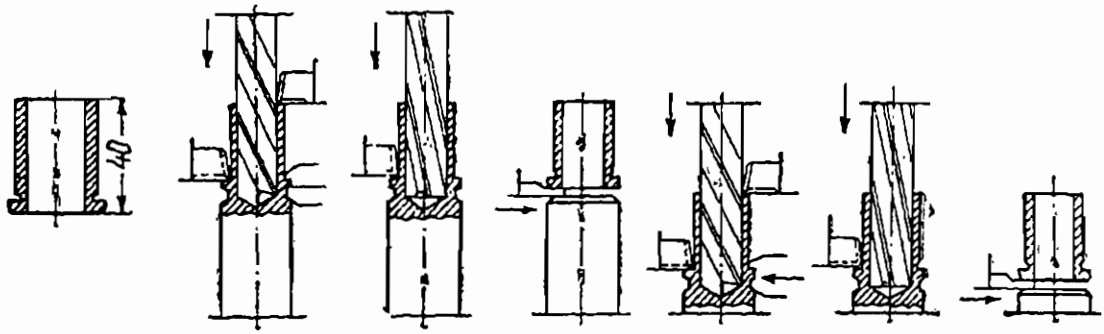
1. Если имеется возможность укоротить наиболее длинный переход путем разбивки его на два. Например, в случае, показанном на фиг. 225, глубина сверления, соответствующая наиболее продолжительному переходу, составляет при 4-шпиндельном автомате 33 мм, а при 6-шпиндельном — 19 мм. Вследствие этого производительность 6-шпиндельного автомата на 73% выше, чем 4-шпиндельного.

2. Если, применив разбивку переходов, удастся устранить необходимость в дорогостоящих инструментах. Например, в случае, показанном на фиг. 226, а, при применении 6-шпиндельного автомата удалось заменить дорогие ступенчатые сверла нормальными (фиг. 226, б).

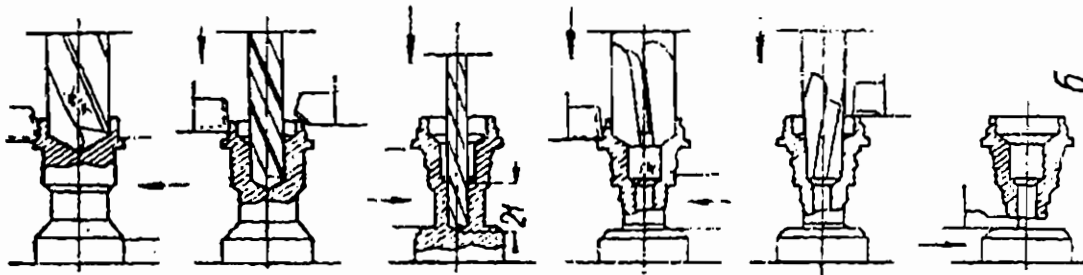
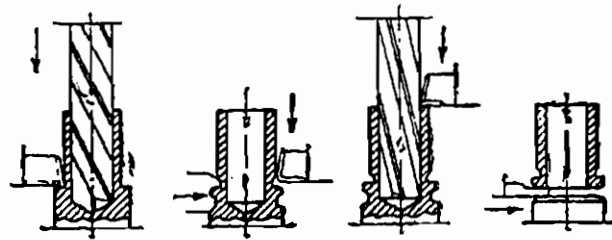
3. Если на 6-шпиндельном автомате за один цикл можно обработать не одну, а две детали, как это показано на фиг. 227. Производительность в этом случае при 6-шпиндельном автомате, очевидно, на 100% выше, чем при 4-шпиндельном.

Б. Обработка осей

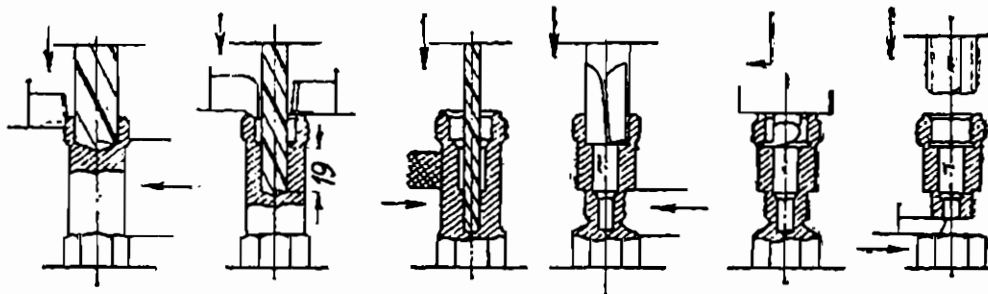
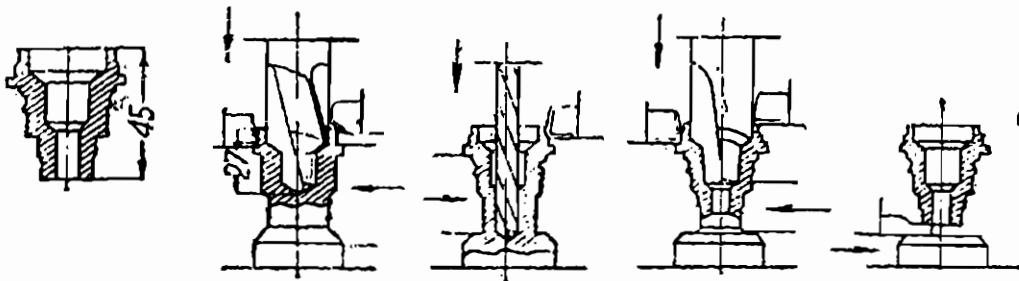
Основной технологической задачей, общей для всех деталей, относимых к классу осей, является получение цилиндрической поверхности с длиной, превышающей диаметр, гладкой или состоящей



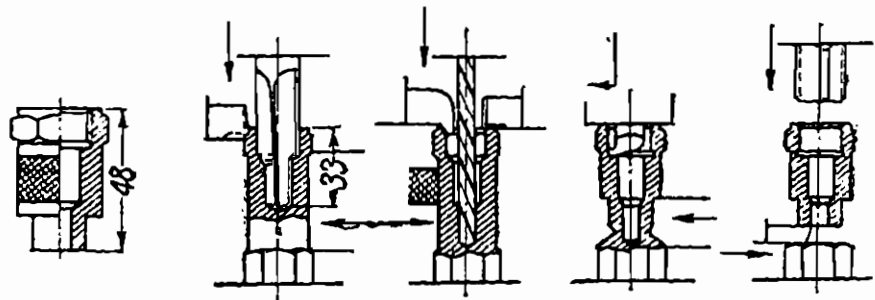
Фиг. 227.



Фиг. 226.



Фиг. 225.



из нескольких участков разных диаметров, но лежащих на одной оси.

При разрешении этой основной технологической задачи необходимо обеспечить:

- 1) прямолинейность оси и соосность всех участков;
- 2) правильность поперечного сечения (т. е. отсутствие овальности и прочих отступлений от окружности);
- 3) правильность продольного сечения (т. е. отсутствие конусности и прочих отступлений от прямоугольника);
- 4) соблюдение диаметральных и продольных размеров в пределах заданных допусков;
- 5) перпендикулярность торцов продольной оси (если на чертеже не указано иного расположения торцов);
- 6) соблюдение требуемого качества поверхности.

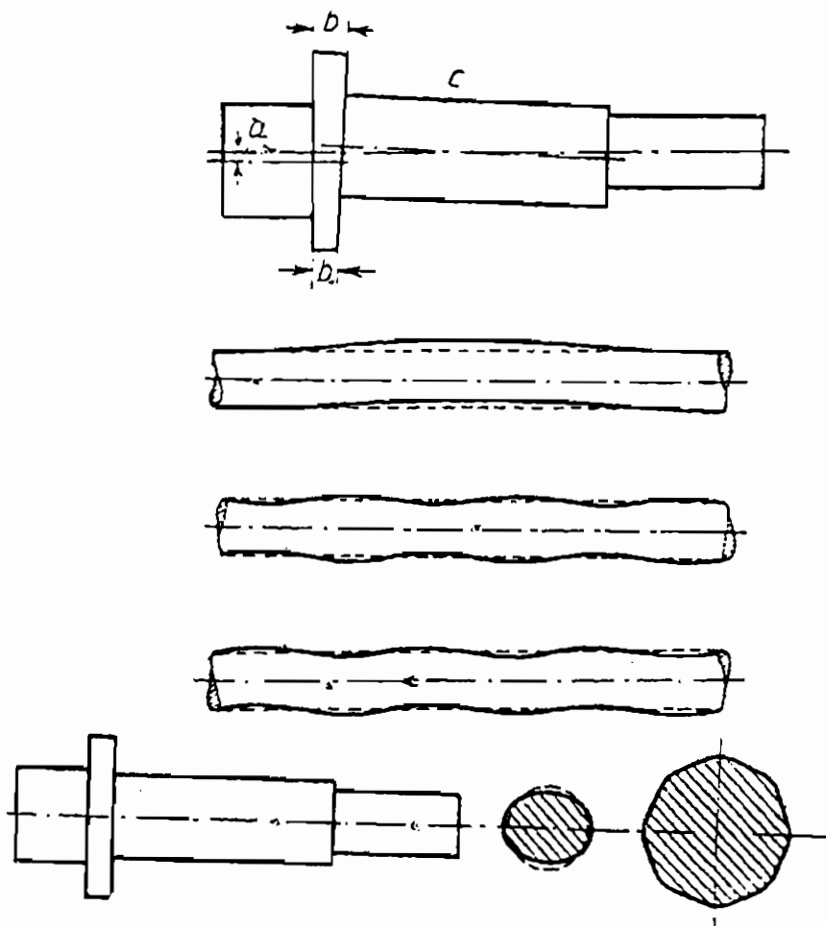
Отдельные участки могут иметь не цилиндрическую форму, а коническую или сферическую. Элементы других форм (например квадратного сечения) хотя и встречаются, но получение их не может быть отнесено к числу технологических задач, общих для данного класса.

В соответствии с назначением осей точных приборов в большинстве случаев их приходится изготавливать с высокой степенью точности.

Наиболее характерные из встречающихся на практике погрешностей обработки осей показаны (утрировано) на фиг. 228.

Технологические процессы для осей (не считая термообработки и отделки) строят обычно по одной из следующих основных схем:

- 1) разрезание пруткового материала на отдельные заготовки, центрование, обтачивание на токарном станке;
- 2) получение заготовки путем литья или штампования, обтачивание на токарном, револьверном станке или полуавтомате;
- 3) вытачивание непосредственно из пруткового материала на револьверном станке или автомате обычного типа;
- 4) то же, но с доделкой на токарном станке;
- 5) вытачивание непосредственно из пруткового материала на специальном продольно-токарном автомате.



Фиг. 228. Неточности обработки осей.

О с и к р у п н ы х р а з м е р о в

При изготовлении осей крупных размеров, приближающихся по своей величине к машиностроительным деталям, технологические процессы строят обычно по первой схеме, являющейся типичной для машиностроения.

Это объясняется тем, что:

1) в точном приборостроении оси крупных размеров встречаются преимущественно в производствах мелкосерийного характера;

2) вытачивание крупных осей непосредственно из прутка на револьверных станках или автоматах сопряжено с рядом технических затруднений и требует применения специальных державок;

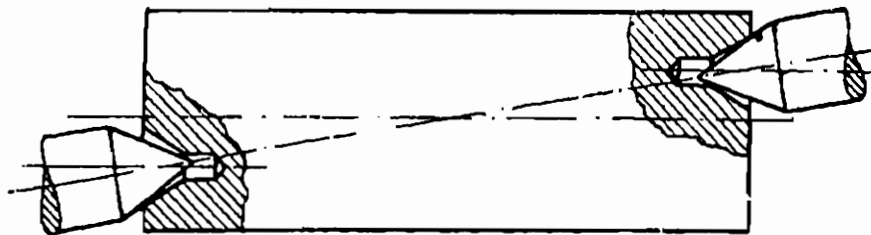
3) экономия, достигаемая устранением операции центrovания и сокращением вспомогательного времени, имеет тем меньшее относительное значение, чем больше основное технологическое время, т. е. чем крупнее размеры оси.

Так как оси крупных размеров не характерны для точного приборостроения, ограничимся лишь изложением основных сведений принципиального характера¹.

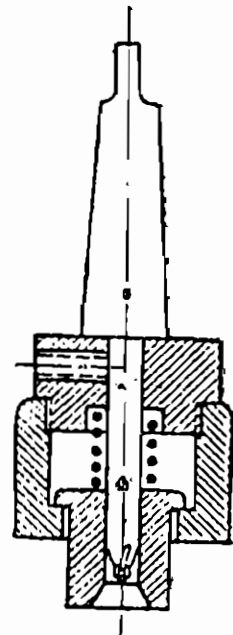
Центрование

При центrovании необходимо соблюдать следующие основные требования:

1) центровые отверстия должны иметь правильную форму (см. ОСТ 3725, приложение 7) и надлежащие размеры;



Фиг. 229.



Фиг. 230. При-
способление к
сверлильному
станку для
центrovания.

2) оба центровых отверстия должны лежать на одной оси; в противном случае (см. фиг. 229) имеет место одностороннее прилегание центров станка к центровым отверстиям, вследствие чего последние быстро разрабатываются;

3) ось центровых отверстий должна быть расположена так, чтобы припуск на обработку был по возможности одинаковым со всех сторон. Иначе нагрузка на резец в течение одного оборота будет переменной, вследствие чего деформации детали станка и резца будут непостоянны.

¹ Более подробно см.: А. П. Соколовский, Основы технологии машиностроения, ч. I; в указываемой книге этот вопрос изложен с исчерпывающей полнотой.

Также непостоянно будет и расстояние между осью вращения и вершиной резца, вследствие чего деталь получится овальной формы.

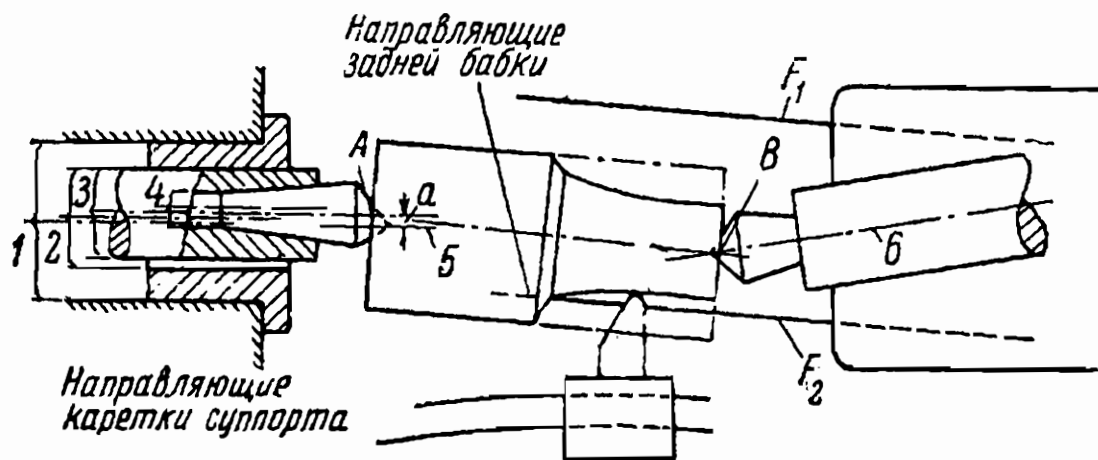
Специальные центровочные станки, применяемые в машиностроении, на предприятиях точного приборостроения в большинстве случаев могут быть использованы лишь в весьма незначительной степени. Вследствие этого операцию центrovания выполняют обычно на сверлильном станке (при помощи устройств, аналогичных изображенному на фиг. 230) или на револьверном (либо токарном) станке, пропуская заготовку сквозь пустотелый шпиндель, а центровое сверло закрепляя в револьверной головке (или задней бабке).

Центровое отверстие может быть получено или в два перехода — сверление и зенкование, или в один переход при помощи комбинированного сверла (приложение 8). Второй способ производительнее первого, но обладает весьма существенным недостатком, так как тонкие концы хрупкого комбинированного сверла легко ломаются и остаются в металле. Если имеются опасения в отношении возможности частых поломок комбинированных сверл, центrovание приходится выполнять в два перехода.

Обтачивание

Обтачивают оси обычно на самоточках нормального типа¹, предназначенных для прецизионных работ (например типа Кергер).

Необходимость применения станка прецизионного типа обуславливается тем, что неточности станка вызывают нередко такие искажения обработанной детали, которые не всегда удается устранить при последующей отделке.



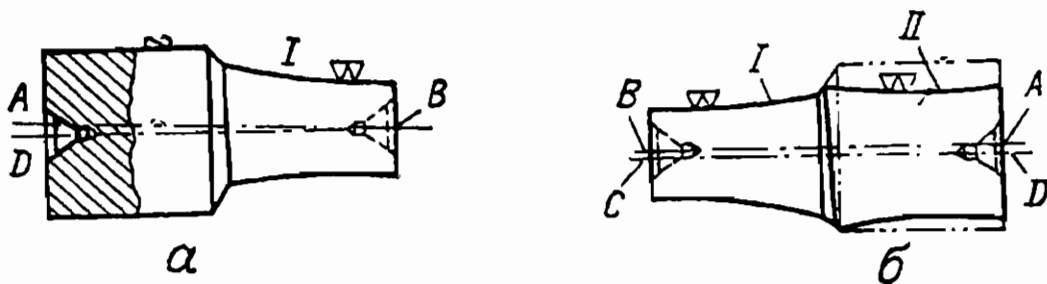
Фиг. 231.

Рассмотрим, как отразятся на точности обработки следующие неточности станка: 1) биение переднего центра, т. е. несовпадение его оси с осью вращения; 2) перекося оси задней бабки; 3) перекося направляющих задней бабки; 4) перекося и искривление направляющих суппорта.

¹ Многорезцовые токарные станки в точном приборостроении применяются очень редко.

Предположим, например, что требуется обточить двухступенчатую ось, показанную на фиг. 231. Пусть I — ось расточки в передней бабке, совпадающая с наружной поверхностью вкладыша.

Вследствие эксцентриситета между наружной поверхностью вкладыша и отверстием ось последнего займет положение 2 . Если вкладыш несколько разработался, ось наружной цилиндрической поверхности шпинделя сместится (положение 3). Ось конического отверстия шпинделя в свою очередь вследствие эксцентриситета может не совпасть с осью 3 и занять положение 4 . Ось переднего конуса 5 будет совпадать с осью вращения шпинделя лишь в том случае, если передний конус шлифовался на данном станке и не вынимался. В противном случае ось переднего конуса 5 будет смещена по отношению к оси вращения шпинделя. Так как ось вращения левого конуса совпадает с осью вращения шпинделя, то правый конус центра при



Фиг. 232.

вращении будет бить. Положение заднего центра зависит от направления оси b пиноли задней бабки и направляющих F_1, F_2 , по которым перемещается задняя бабка. В результате перемещения пиноли и задней бабки задний центр может занимать различные положения. Осью вращения детали будет являться линия AB . Если бы направляющие супорта были параллельны этой оси, мы получили бы цилиндрическую поверхность. Рассчитывать, однако, на это нельзя, поскольку, как уже было указано, задний центр может занимать различные положения. Если к тому же направляющие супорта искривлены или перекошены, то эти отклонения также отражаются на детали. После обработки при первой установке деталь получит форму, показанную на фиг. 232. Обточенная поверхность I представляет собою не цилиндр, а иное тело вращения, осью которого является к тому же не линия, соединяющая центровые отверстия, а показанная на чертеже действительная ось вращения AB . При второй установке, когда изделие закрепляется в перевернутом положении, мы получим после обработки поверхность II . Осью этой поверхности является линия CD , не совпадающая ни с линией центровых отверстий BD , ни с осью AB поверхности I . Таким образом оси обточенных ступеней будут смещены друг относительно друга.

Чтобы уменьшить погрешности обработки, происходящие вследствие несовпадения осей переднего и заднего центров, можно использовать принцип «мертвых центров», т. е. сделать передний центр также неподвижным. На фиг. 233 показано устройство фирмы Кергер,

позволяющее вести обработку в «мертвых центрах», при применении обычных токарных станков, выпускаемых этой фирмой.

Приведенные соображения подтверждают высказанное выше положение о необходимости применения прецизионных станков для обтачивания осей, но не исчерпывают всех причин возникновения погрешностей при обработке. Кроме геометрических неточностей станка, на точности обработки существенно отражаются деформации, происходящие под действием нагрузки и нагрева.

Разберем в общем виде, как отражаются на точности работы деформации станины токарного станка, монтированных на ней узлов, инструмента и детали¹.

На фиг. 234 сплошными линиями показано первоначальное рас-

положение инструмента, при котором диаметр детали теоретически должен был бы получиться равным $2OC$. Предположим, что вследствие деформаций вершина резца переместилась в точку C_1 , а центр детали в точку O_1 . При этих условиях диаметр обработанной детали $d_d = 2O_1C_1$.

Обозначим:

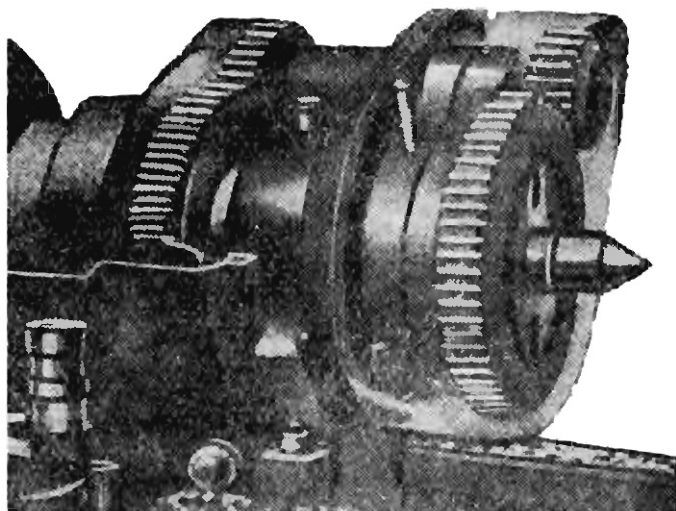
перемещение вершины резца в горизонтальном направлении через δ_y ;

перемещение вершины резца в вертикальном направлении — через δ_z ;

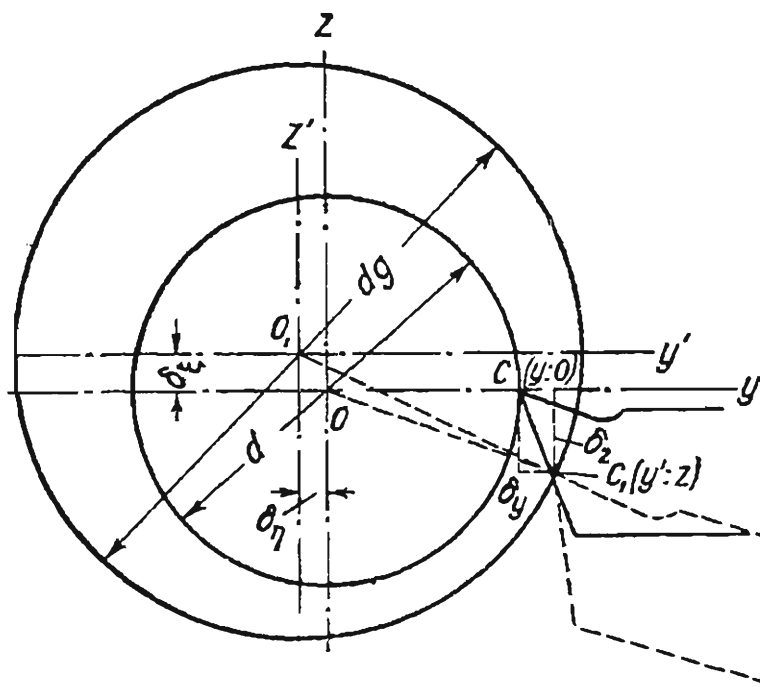
перемещение центра детали в вертикальном направлении — через δ_ξ ;

перемещение центра детали в горизонтальном направлении — через δ_η .

Примем точку O за начало координат.



Фиг. 233. Устройство для работы в «мертвых центрах».



Фиг. 234.

Координаты точки C равны:

$$z = 0 \text{ и } y = OC = \frac{d}{2} = r;$$

координаты точки C_1 :

$$y_1 = y + \delta_y \text{ и } z_1 = \delta_z;$$

¹ Х. М. Еникеев, Влияние деформаций на точность работы токарного станка. журн. «Станки и инструмент», 1938, № 4.

переноса начало координат в точку O_1 и обозначая координаты точки C_1 в новых осях через y'_1 и z'_1 , получим:

$$y'_1 = y_1 + \delta_\eta = y + \delta_y + \delta_\eta,$$

$$z'_1 = z_1 + \delta_\xi = \delta_z + \delta_\xi.$$

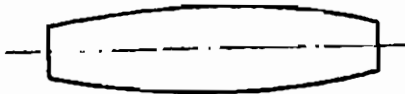
Действительный диаметр вала

$$d_{\text{д}} = 2\sqrt{y_1'^2 + z_1'^2} = 2\sqrt{(y + \delta_y + \delta_\eta)^2 + (\delta_z + \delta_\xi)^2}.$$

Так как величина $\delta_z + \delta_\xi$ мала по сравнению с $(y + \delta_y + \delta_\eta)$, то мы можем ею пренебречь и с достаточным приближением принять

$$d_{\text{д}} = 2\sqrt{(y + \delta_y + \delta_\eta)^2} = 2(y + \delta_y + \delta_\eta) = d + 2(\delta_y + \delta_\eta).$$

Таким образом мы можем считать, что точность по диаметру зависит от суммы смещения центра оси и вершины инструмента лишь в радиальном направлении.



Фиг. 235.

При обтачивании осей с большим отношением длины к диаметру основную роль играет прогиб детали под действием радиальной составляющей давления резания P_y . Увеличение диаметра, очевидно, равно удвоенной величине прогиба.

Если ось закреплена в центрах, прогиб будет максимальным по середине и минимальным по краям. Вследствие этого обточенная ось будет иметь форму, показанную утрированно на фиг. 235.

Величину максимального прогиба можно определить приближенно, рассматривая ось как балку на двух опорах.

При этих условиях¹

$$f_{\text{max}} = \frac{P_y l^3}{48EJ},$$

где l — длина детали;

E — модуль упругости;

J — момент инерции.

Чтобы уменьшить величину радиальной составляющей, а следовательно, и соответствующего прогиба, необходимо применять резцы

* Следует отметить, что, руководствуясь этой формулой, мы, как правило, будем получать преувеличенные значения прогиба, так как действительные условия закрепления не совсем подходят к балке, лежащей на двух опорах.

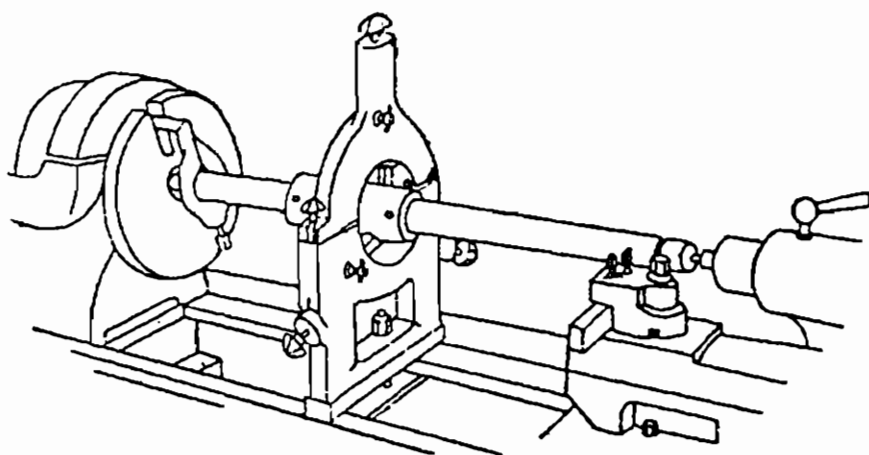
При балке с заделанными концами

$$f_{\text{max}} = \frac{Pl^3}{192EJ}.$$

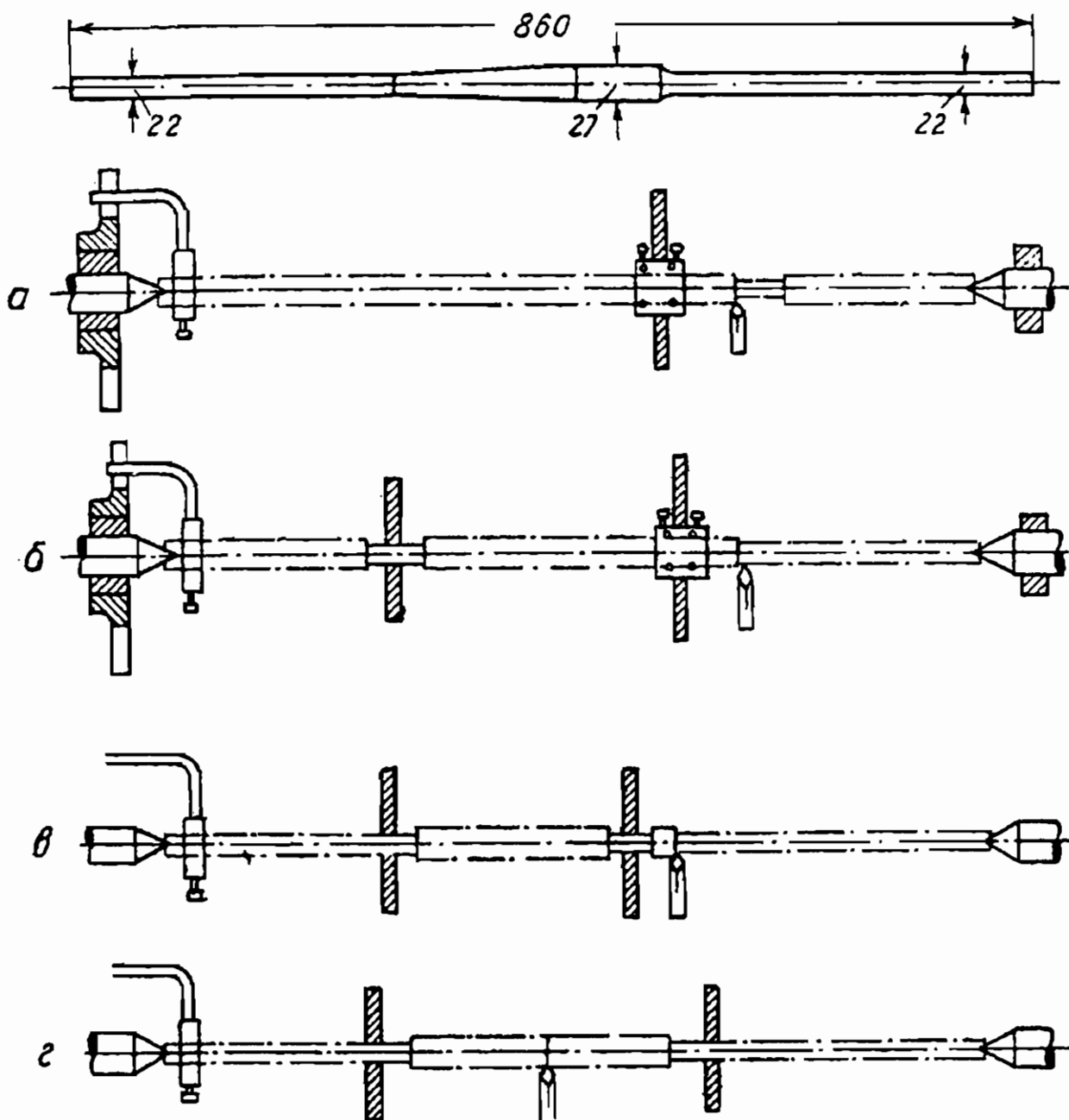
Инж. Шнейерсон экспериментальным путем получил для вала, закрепленного в центрах,

$$f_{\text{max}} = \frac{Pl^3}{75EJ}.$$

Эта формула, однако, нуждается в дополнительной проверке.



Фиг. 236.



Фиг. 237. Обработка длинного валика:

а—проточка шейки под лонет (1-я операция), б—обточка одного конца (2-я операция), в—обточка другого конца (3-я операция), г—обточка середины (4-я операция),

с большими углами в плане и поддерживать остроту режущей кромки. Основным средством для уменьшения прогиба малоустойчивой оси является поддержка ее одним, а при весьма малоустойчивых осях — и несколькими люнетами. При обтачивании ступенчатых осей приходится пользоваться неподвижными люнетами, устанавливаемыми на станине.

Установить люнет непосредственно на ось можно лишь в том случае, если последняя вытачивается из чистотянутого материала. При применении катаного материала нужно предварительно проточить (с мелкой стружкой) шейку под люнет.

В случаях, когда проточить шейку не представляется возможным, люнет устанавливается на промежуточную втулку, надеваемую на ось (фиг. 236). Втулка закрепляется на оси восемью болтами, по четыре с каждой стороны. Поворачивая ось и регулируя болтами положение втулки, добиваются ее полной concentричности с осью вращения.

Концентричность проверяют при помощи рейсмуса или индикатора.

На фиг. 237 показан пример обработки вала в люнетах, заимствованный из книги проф. А. П. Соколовского «Основы технологии машиностроения».

Оси гладкие, т. е. имеющие постоянный диаметр по всей длине, изготавливаются значительно проще, чем ступенчатые. Прежде всего можно использовать холодотянутый материал, устранив этим необходимость обтачивания. При обтачивании гладких осей из катаного материала следует применять подвижные люнеты, укрепляемые на супорте.

Оси средних размеров сложной конфигурации

Оси средних размеров сложной конфигурации, у которых имеется большая разница между диаметрами различных ступеней, изготавливают часто по схеме второй, т. е. вытачивают из заготовок, полученных путем литья или горячего штампования.

Основное преимущество этой схемы — экономия на отходах материала, — сказывается особенно значительно в тех случаях, когда вследствие конструктивных условий (например требований антимагнитности при производстве геодезических приборов) ось приходится изготавливать из дорогостоящих или дефицитных цветных металлов (в частности из латуни).

На фиг. 238 показан порядок обработки вертикальной оси теодолита.

1-я операция — продвинуть прутки до упора (на револьверном станке), отрезать (фиг. 238, а);

2-я операция — нагреть заготовку до 750—780°, штамповать в горячем состоянии (фиг. 238, б);

3-я операция — снять заусенцы (на наждачном круге), образовавшиеся при штамповке;

4-я операция — нагреть заготовку до 750° , штамповать в горячем состоянии окончательно (фиг. 238, в);

5-я операция — термообработка.

Механическая обработка начинается с 6-й операции и выполняется на револьверном станке; состоит она из следующих переходов (фиг. 238, г): 1) предварительно проточить конус; 2) выточить поясok глубиной 0,5 мм; 3) проточить $\varnothing 6$; 4) выточить канавку; 5) подрезать торец, выдержав размер $5^{+0,3}$; 6) снять заусенцы и фаску; 7) нарезать резьбу; 8) центровать.

Операция 7-я (фиг. 238, д) также выполняется на револьверном станке. Деталь закрепляют в специальном патроне, центрируя ее по конусу и прижимая по левому торцу фланца. Порядок переходов установлен следующий: 1) проточить $\varnothing 43$; 2) проточить $\varnothing 21$; 3) подрезать торец; 4) сверлить $\varnothing 14$; 5) центровать; 6) снять заусенцы.

Операции 8, 9 и 10-я (фиг. 238, е и ж) заключаются в сверлении отверстий, их зенковании и нарезании.

Окончательная пригонка оси выполняется в центрах токарного станка в процессе сборки.

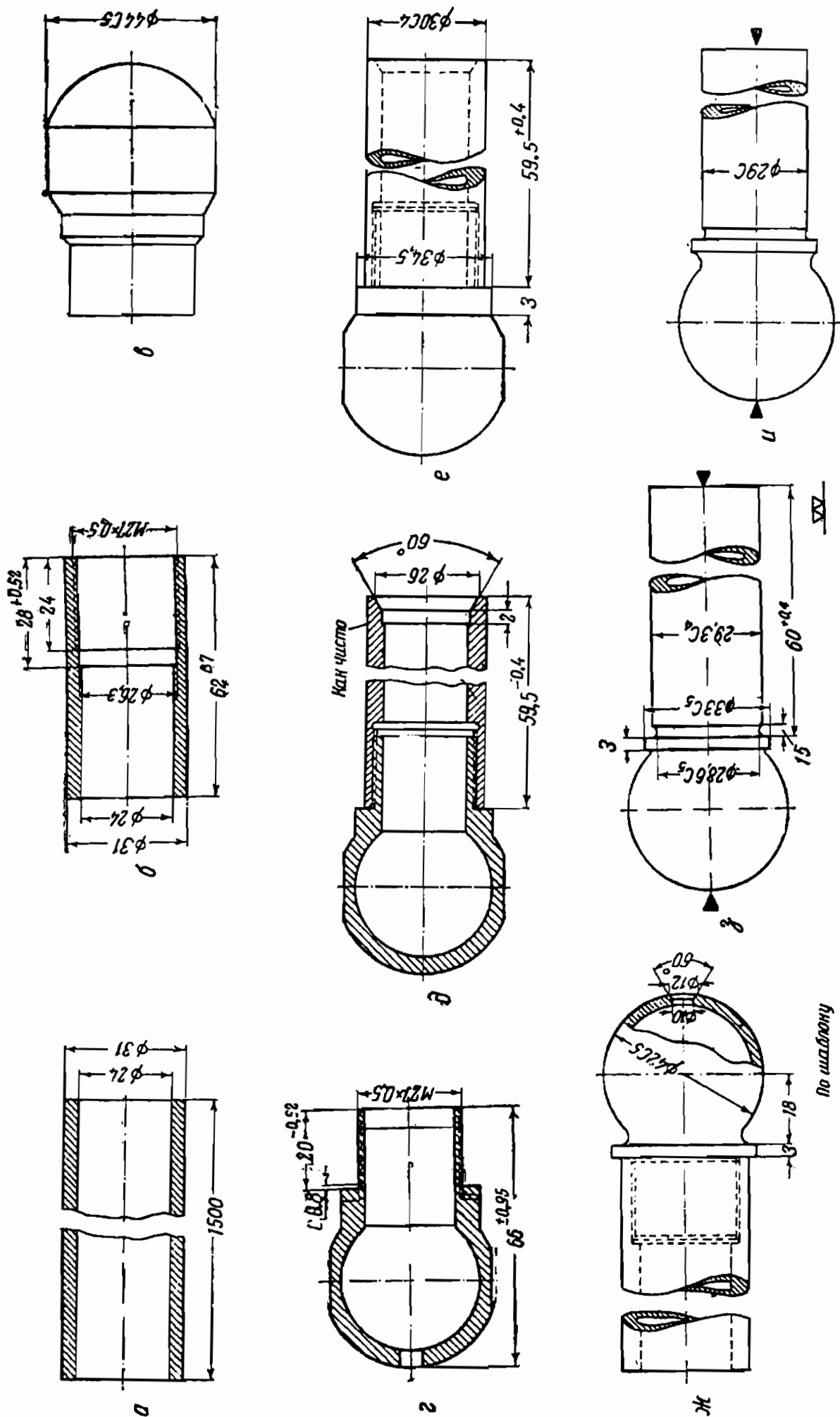
Оси сложной конфигурации в ряде случаев целесообразно изготовлять из нескольких частей.

На фиг. 239 показан порядок обработки полой латунной оси с шаровой пятой. При обработке этой оси необходимо исходить из того, что ось наружных цилиндрических поверхностей должна проходить через центр шаровой поверхности. Ось изготовляется из двух частей — А и В. Часть А обрабатывается из трубы в две операции. 1-я операция — отрезка (фиг. 239, а); 2-я операция выполняется на револьверном станке и состоит из следующих переходов: 1) подрезать торец; 2) расточить под резьбу; 3) нарезать резьбу гребенкой; 4) прогнать резьбу метчиком; 5) отрезать (фиг. 239, б).

Деталь В, заготовка для которой получается путем литья, обрабатывается также в две операции. При 1-й операции протачивается поясok (фиг. 239, в), за который деталь зажимается при последующей обработке; 2-я операция выполняется на револьверном станке и состоит из следующих переходов: 1) обточить по диаметру; 2) подрезать торец; 3) выточить канавку для выхода резьбы; 4) нарезать резьбу (фиг. 239, г).

Далее детали частей А и В свинчиваются и спаиваются, после чего производится дальнейшая обработка в следующем порядке. 1-я операция выполняется на токарном станке и заключается (фиг. 239, д) в подрезке торца, растачивании внутреннего диаметра (как чисто), растачивании конуса. После этого деталь, поддерживаемая по расточенному конусу, обтачивается по наружным цилиндрическим поверхностям (фиг. 239, е). Следующая операция — обтачивание шаровой поверхности, рассверливание отверстия $\varnothing 10$ и его раззенковывание (фиг. 239, ж).

Дальнейшая обработка — чистовое обтачивание наружных цилиндрических поверхностей (фиг. 239, з) и шлифование (фиг. 239, и). При этих операциях деталь устанавливается в центрах.



Фиг. 239. Порядок обработки оси, состоящей из двух частей.

По шаблону

О с и м а л ы х и с р е д н и х р а з м е р о в

Оси малых и средних размеров с небольшой разницей в диаметрах различных ступеней вытачиваются обычно непосредственно из пруткового материала в соответствии с одной из схем 3—5¹ (стр. 209). Вопрос о том, на каком станке целесообразнее выполнять эту работу — револьверном или автомате, разрешается в зависимости от типа производства на основании общих соображений, указанных выше.

Обработка на револьверных станках и автоматах обычного типа

На фиг. 240 показан порядок обработки валика ходового колеса (часового механизма) на автомате фирмы Браун-Шарп «0». Этот порядок обработки принят на 2-м часовом заводе в Москве и интересен тем, что все ступени обтачиваются одним резцом. Резец закрепляется в державке качающегося типа. Диаметр обтачиваемой ступени определяется положением поперечного супорта, к которому прижимается упор, закрепленный в державке. Супорт устанавливается в надлежащее положение при помощи соответствующего кулачка.

На фиг. 241 представлен технологический процесс, построенный по схеме 4.

1-я операция (фиг. 241, а) выполняется на револьверном станке и состоит из следующих переходов: 1) продвинуть до упора; 2) подрезать торец; 3) центровать; 4) обточить; 5) отрезать.

При 2-й операции, также выполняемой на револьверном станке, обтачивается левый конец и предварительно подрезается и центрируется (фиг. 241, б).

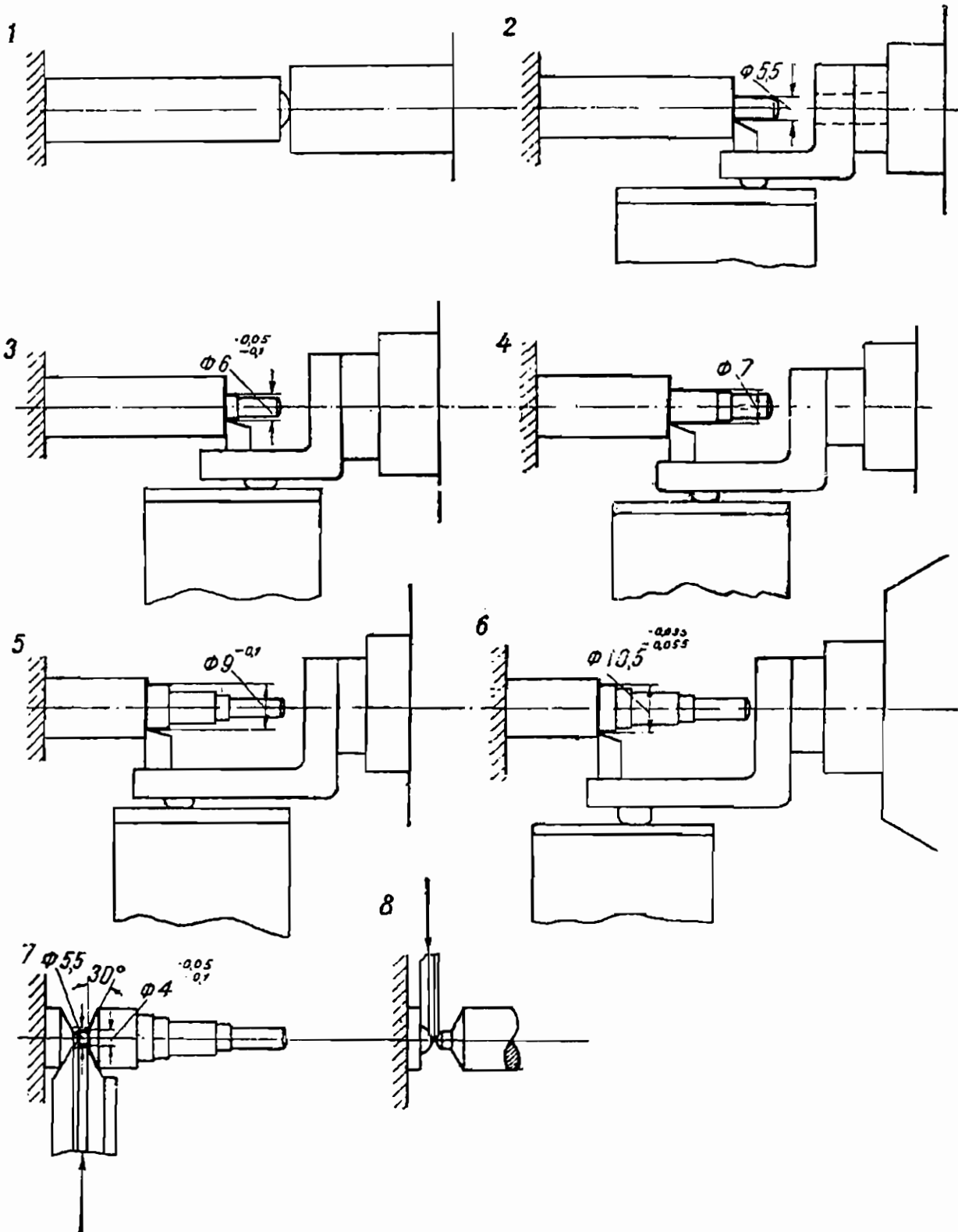
Дальнейшие операции выполняются на прецизионном токарном станке и заключаются в чистовом обтачивании левого конца (операция 3-я, фиг. 241, в), обтачивании под шлифование правого конца (операция 4-я, фиг. 241, г), нарезании резьбы (операция 5-я) и шлифования (операция 6-я, фиг. 242).

При всех этих операциях деталь устанавливается в центрах.

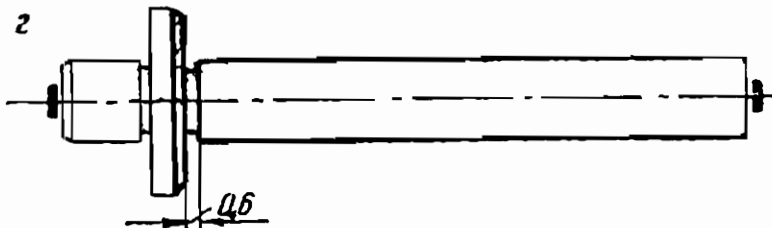
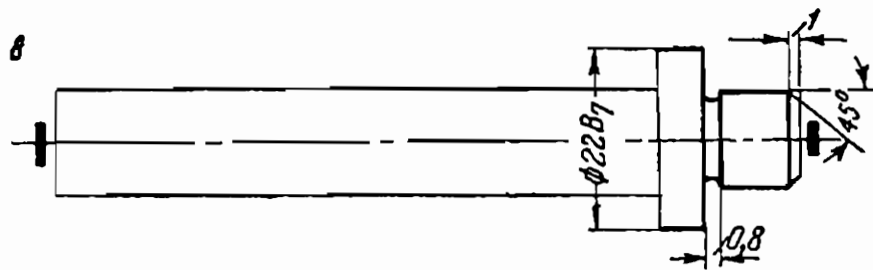
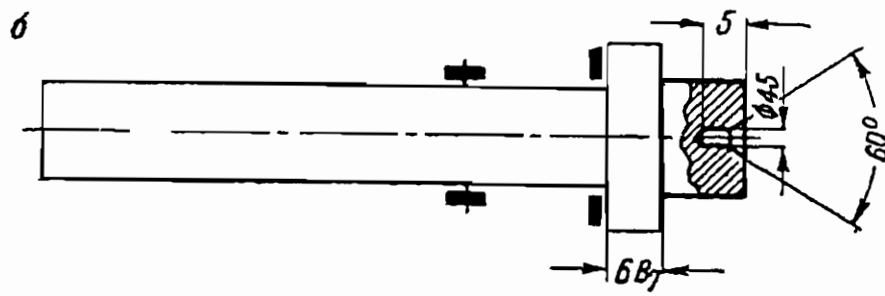
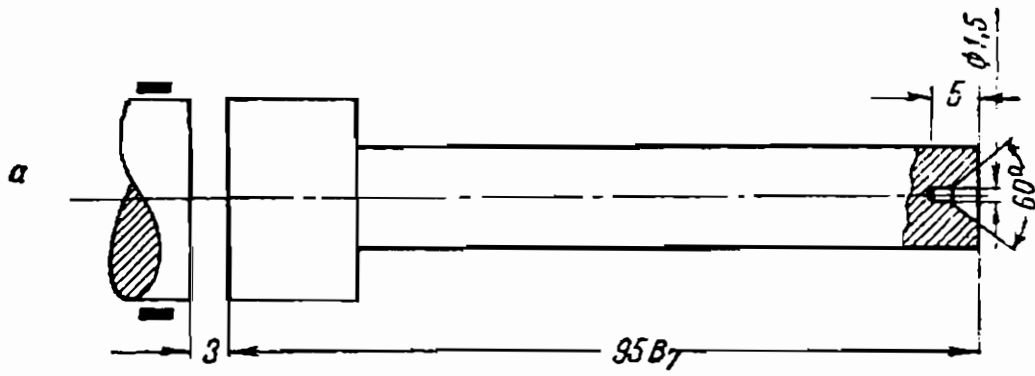
При обработке коротких жестких осей обеспечить требуемую точность нетрудно.

Значительно более сложной задачей является обработка осей малоустойчивых, с большим отношением длины к диаметру. При обработке оси на автомате или револьверном станке обычного типа (с неподвижной передней бабкой) по мере приближения резца к месту закрепления прутка прогиб будет уменьшаться. Вследствие этого обточенная деталь получит форму, показанную на фиг. 243.

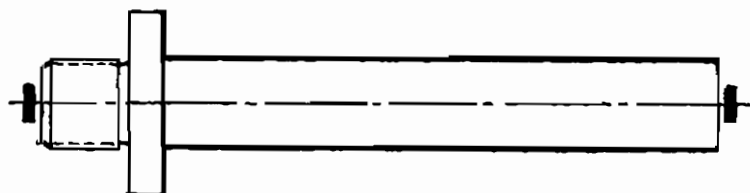
¹ За исключением производств индивидуального типа, где эта работа выполняется обычно на токарных станках. В отдельных случаях токарные станки применяют и в условиях серийного производства, строя технологический процесс по принципу дифференциации операций. В этих случаях отпадает время установки на стружку и смену резцов, но увеличивается время на перестановки деталей.



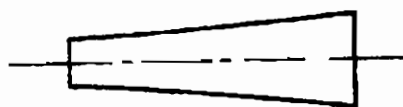
Фиг. 240. Порядок обработки валика ходового колеса на автомате фирмы Браун-Шарп.



Фиг. 241. Обработка оси.



Фиг. 242.



Фиг. 243.

Величина максимального прогиба может быть приближенно определена по формуле

$$f_{\max} = \frac{P_y l^3}{3EJ},$$

т. е. в 16 раз больше, чем прогиб такой же детали, но обрабатываемой в центрах.

В равной степени и напряжения на изгиб, происходящие под совместным действием касательной и радиальной составляющих давления резания и равные

$$\sigma = \frac{Pl}{w} = \frac{\sqrt{P_y^2 + P_z^2} l}{w},$$

могут значительно превысить допускаемые напряжения.

Основным средством уменьшения деформаций является применение устройств, поддерживающих деталь в процессе ее обтачивания.

В частности, можно использовать следующий метод. Пруток выдвигается до упора и деталь центрируется при помощи инструмента, закрепленного в револьверной головке. Головка поворачивается, и в центровое отверстие входит центр, закрепленный в следующем гнезде револьверной головки. Обтачивание выполняется резцами, закрепленными в боковых супортах.

Чтобы избежать центровки, можно применить для поддержки детали втулку, показанную на фиг. 244. При малых диаметрах центровка заменяется затачиванием конца на конус. На фиг. 247 показан план обработки заготовки трибки, изображенной на фиг. 245.

После подачи до упора зачищается конический конец, образовавшийся при отрезании предыдущей детали. В процессе дальнейшей обработки фасонными резцами, закрепленными в заднем супорте, деталь поддерживается обратным центром, установленным в револьверной головке.

На фиг. 248 приведен план обработки оси, изображенной на фиг. 246. Так как деталь весьма малоустойчива, при зачистке конического конца ее приходится поддерживать во втулке.

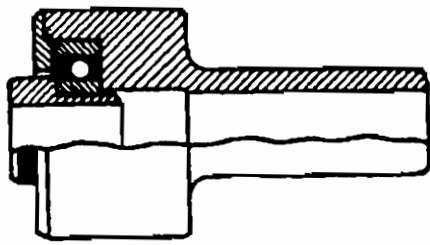
Другой способ уменьшения деформаций детали — это применение люнетных державок. Последние бывают двух типов — призматические и роликовые.

Роликовые державки (фиг. 249) следует применять при обработке стальных деталей и при значительной глубине резания. При этих условиях давление резания прижимает пруток к роликам, которые оказывают вальцующее действие.

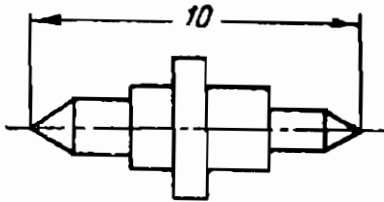
Призматические державки (фиг. 250) применяются в тех случаях, когда давление резания невелико — при небольших сечениях стружки и при обработке цветных металлов.

При пользовании державками с люнетами хороших результатов можно добиться лишь при условии, что сам станок находится в хорошем состоянии и что люнет установлен весьма точно по отношению к оси вращения.

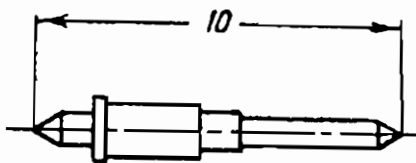
Анализ причин, вызывающих погрешности в случае нарушения последнего условия, дан в книге проф. А. П. Соколовского «Основы технологии машиностроения», ч. I, стр. 366.



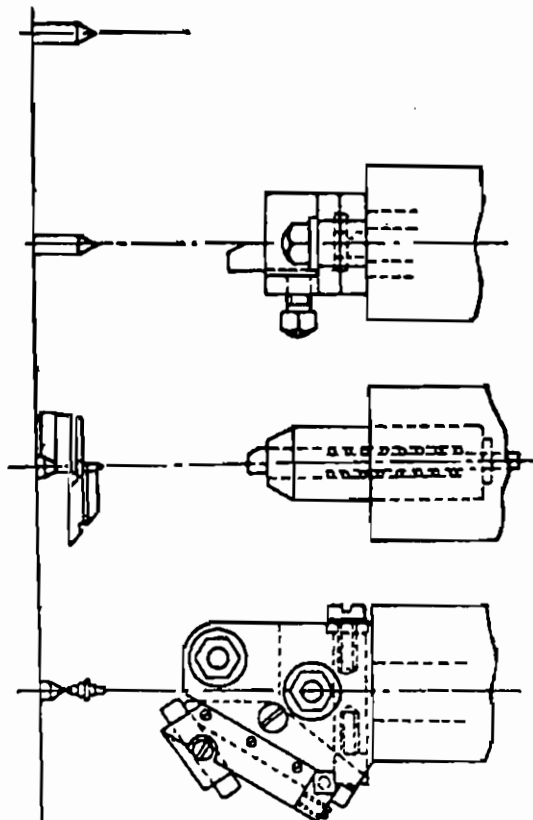
Фиг. 244.



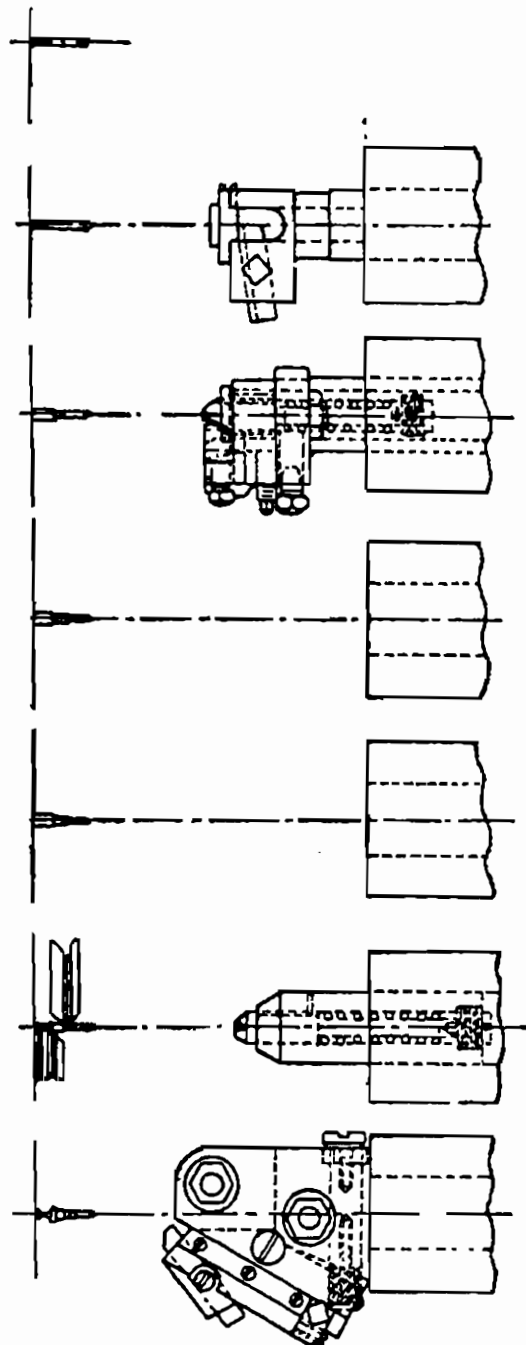
Фиг. 245.



Фиг. 246.



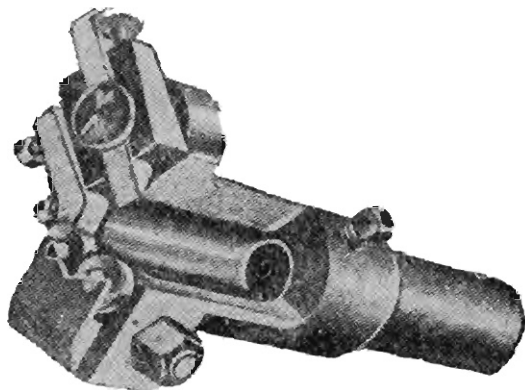
Фиг. 247. План обработки на автомате детали, показанной на фиг. 245. (подача прутка, проточка конуса, обработка фасонными резцами, укрепленными в переднем и заднем поперечных суппортах, отрезка).



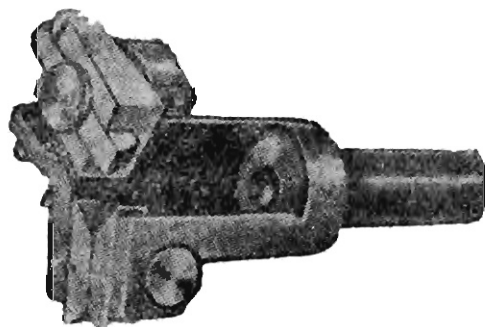
Фиг. 248. План обработки детали, показанной на фиг. 246. (подача прутка, проточка конуса, обточка, обработка фасонными резцами с переднего и заднего суппортов, отрезка).

В точном приборостроении приходится часто иметь дело со столь малоустойчивыми осями, что заточить шейку под люнет, если пруток выдвинут на полную длину, не представляется возможным.

В таких случаях приходится прибегать к одному из следующих способов:



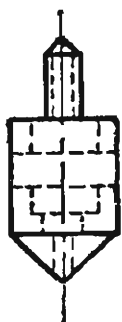
Фиг. 249. Роликовая люнетная державка.



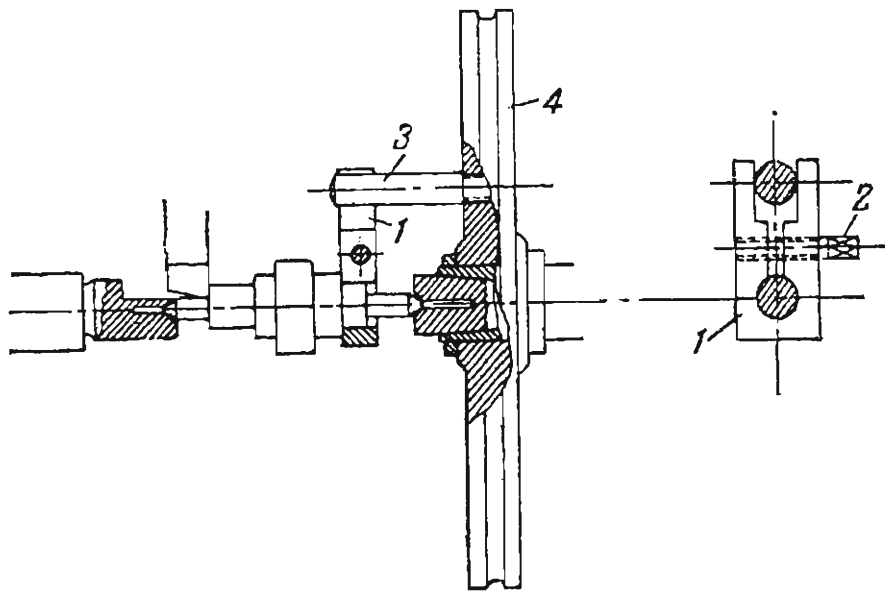
Фиг. 250. Призматическая люнетная державка.

1) выдвинуть пруток из зажима на небольшую длину, заточить шейку под люнет, после чего переместить пруток на полную длину для дальнейшей обработки; этот способ можно применить лишь при чистотянutom и выправленном материале;

2) зацентрировать пруток (или заточить на конус) и, поддерживая конец при помощи центра, закрепленного в револьверной головке, проточить шейку под люнет резцом, закрепленным в боковом суппорте.



Фиг. 251.



Фиг. 252. Обтачивание в «мертвых центрах».

Применение поддерживающих устройств позволяет значительно уменьшить деформации деталей, но не разрешает все же полностью проблемы обтачивания всех малоустойчивых осей, имеющих в точном приборостроении. Выточить, например, непосредственно из пруткового материала на револьверном станке или автомате обычного типа ось диаметром 1 мм и длиной 40 мм вообще не представляется возможным. При обработке подобных осей на указанных станках

приходится вытачивать лишь заготовки, подвергая последние ряду дополнительных операций на токарных станках или полуавтоматах (схема 4).

На фиг. 251 изображена заготовка оси часового механизма после обработки на автомате. Пунктиром показана ось в окончательно обработанном виде, полученная после соответствующих операций, выполненных на токарных станках или полуавтоматах.

На фиг. 252 показана установка оси на полуавтомате в «мертвых центрах». Деталь приводится во вращение хомутиком 1, зажимающим ее при помощи винта 2. Хомутик приводится во вращение посредством винта 3, закрепленного в шкиве 4, свободно вращающемся на оси.

Обработка на продольно-токарных автоматах

Наиболее рациональным способом обтачивания малоустойчивых осей в условиях крупносерийного или массового производства точного приборостроения следует считать их обработку на продольно-токарных автоматах, у которых, как известно, продольная подача осуществляется перемещением передней бабки с зажатым в шпинделе материалом.

Так как усилие резания независимо от длины детали приложено всегда непосредственно у опоры (на расстоянии 0,1—0,3 мм) и резцы имеют лишь поперечную подачу, прогиб детали даже при весьма большом отношении длины к диаметру получается незначительным. Это обстоятельство позволяет обтачивать на продольно-токарных автоматах весьма малоустойчивые оси с точностью и производительностью, недостижимыми для станков обычного типа (т. е. с неподвижной передней бабкой и подачей резцов).

Высокая производительность обуславливается тем, что при обтачивании на продольно-токарных автоматах можно допускать значительно более высокие подачи, чем при автоматах и револьверных станках обычного типа, где величина подачи лимитируется недостаточной жесткостью детали.

Кроме того, обтачивание на продольно-токарных автоматах обладает следующими преимуществами:

1) при изготовлении ступенчатых осей можно ограничиться одним-двумя резцами, в то время как у обычных автоматов и револьверных станков для этого нужно иметь столько инструментов, сколько имеется ступеней у детали¹;

2) весьма просто — соответствующим перемещением резца в поперечном направлении — можно обрабатывать ступени, расположенные за заплечиками большего диаметра;

3) конические и фасонные поверхности можно обтачивать тем же резцом, что и цилиндрические (подачей резца в поперечном направлении одновременно с продольной подачей заготовки).

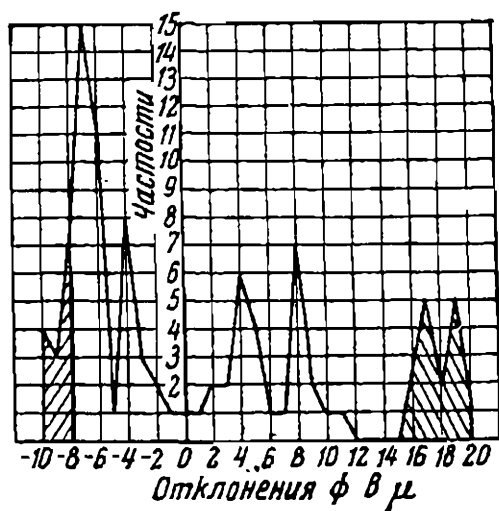
При исследованиях, проведенных под руководством автора на 1-м часовом заводе, для цапф осей центрального триба среднее ква-

¹ За исключением особых способов работы, подобных описанному на стр. 220.

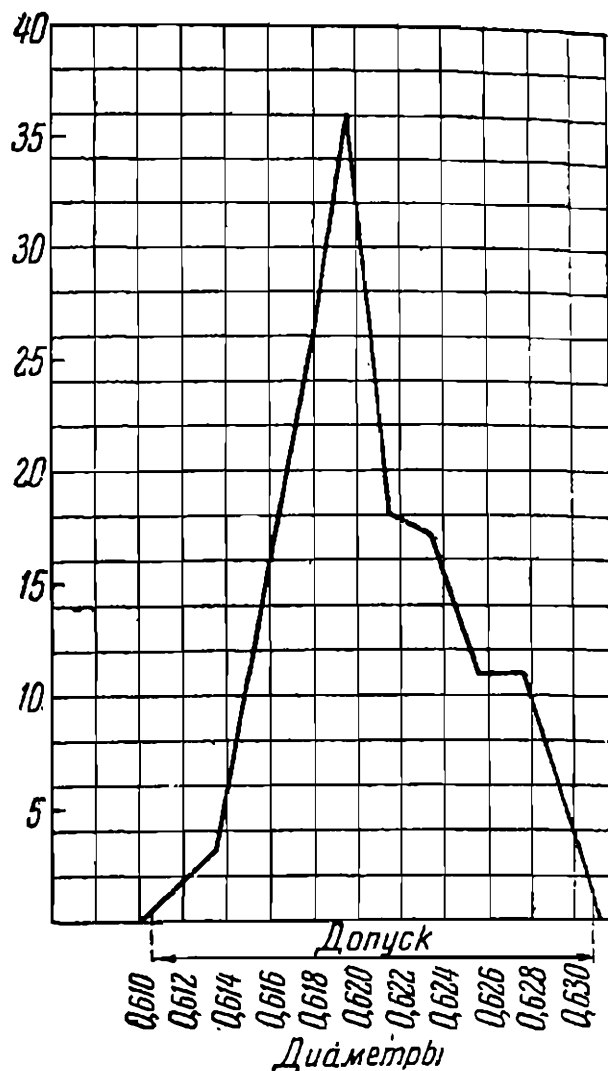
дρασическое отклонение, характеризующее рассеивание размеров в период между двумя поднастройками, оказалось равным 1,5—1,7 μ .

Эллиптичность при тех же исследованиях характеризовалась следующими данными: 58% деталей имели эллиптичность в пределах до 1 μ , 70% — до 2 μ , 81% — до 3 μ и 91% — до 5 μ .

Высокая степень точности при обработке на продольно-токарных автоматах может быть достигнута лишь в случае соблюдения целого ряда условий. В первую очередь это относится к настройке станка. Недостаточная тщательность и неправильная методика настройки



Фиг. 253. Кривая распределения деталей обточенных на автомате «Торнос». Заштрихованная площадь характеризует количество деталей с размерами, выходящими за пределы допуска.



Фиг. 254.

могут свести на-нет все преимущества продольно-токарных автоматов в отношении точности обработки.

Например, на фиг. 253 показана кривая распределения, построенная на основе замера партии деталей, обработанных на автомате «Торнос» в одну смену, причем настройка производилась обычным методом.

На фиг. 254 изображена кривая распределения, построенная на основе замера деталей того же наименования, обработанных при неизменных во всех прочих отношениях условиях на том же станке, настроенном по методу автора. Как это видно из фиг. 254, брака удалось избежать только лишь за счет правильной настройки станка, не внося никаких принципиальных изменений.

Второе условие относится к материалу. При работе на продольно-токарных автоматах необходимо применять чистотянутый материал. В случае недостаточной точности материала зазор между прутком

и втулкой люнета будет колебаться в значительных пределах, что может вызвать заедание или (в случае большого зазора) неточность обработки.

Эллиптичность материала имеет следствием эллиптичность обработанной детали. По данным 1-го часового завода, эллиптичность материала не должна превышать 0,005 мм для $\varnothing 1-3$ мм и 0,01 мм для $\varnothing 3-10$ мм.

Обработка конических и сферических поверхностей

Как указано выше, при изготовлении осей, применяемых в точном приборостроении, приходится иметь дело с обработкой не только цилиндрических, но также конических и сферических поверхностей. При станках обычного типа эти поверхности можно обработать, применяя основные методы получения фасонных поверхностей вращения вообще, а именно: 1) поперечную подачу фасонного резца; 2) подачу остроконечного резца по копиру.

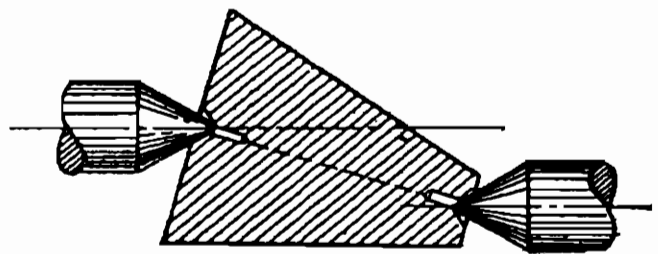
Фасонным резцом можно обтачивать короткие участки на устойчивых деталях (длина детали не должна превышать диаметр более, чем в 2—3 раза). Во избежание порчи фасонного резца следует предварительно удалять корку обычным проходным резцом. При обработке широкой поверхности ее можно разбить на два участка и каждый из них обтачивать отдельным резцом. Чтобы загладить стык, поверхность следует дополнительно обработать либо широким фасонным резцом, снимающим стружку малой толщины, либо остроконечным резцом (по копиру).

Не рассматривая общих вопросов, связанных с обработкой фасонных поверхностей на токарных станках по копиру, сделаем некоторые указания по обтачиванию конических и сферических поверхностей остроконечным резцом.

При обработке конических поверхностей на токарных станках нужно учитывать, что:

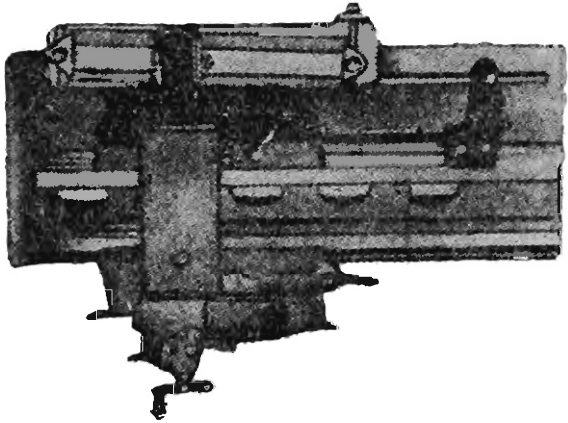
- а) поворотом верхних салазок супорта следует обрабатывать только недлинные конусы, не требующие самохода;
- б) поперечным перемещением задней бабки можно обработать лишь наружную поверхность с небольшой конусностью; недостаток этого способа — неправильное срабатывание центровых углублений (фиг. 255) (если сначала обточить конус, а затем, установив на те же центра, обработать цилиндрические шейки, оси обработанных конических и цилиндрических поверхностей совпадать не будут);
- в) способ обработки конусов при помощи копировального приспособления (фиг. 256) не имеет указанных недостатков и, кроме того, позволяет растачивать внутренние конусы, а также обрабатывать изделия с большой конусностью.

Обтачивание деталей под двумя независимыми друг от друга углами может быть осуществлено при помощи показанного на фиг. 257 супорта с тремя салазками.

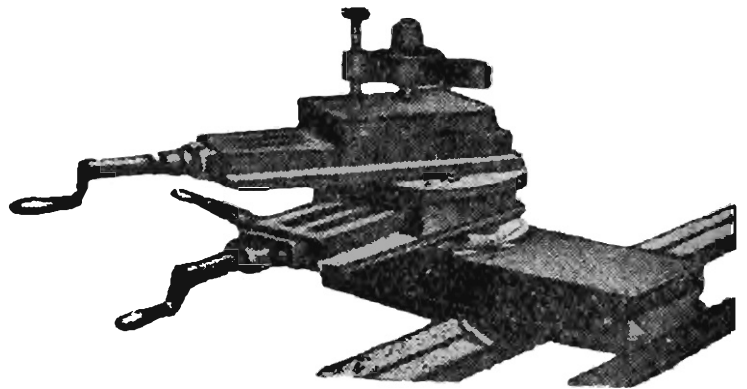


Фиг. 255.

Если ось вытачивается на револьверном станке или автомате, то обработку конической или сферической поверхности можно либо вынести в отдельную операцию, осуществляемую на токарном станке, либо выполнить в процессе вытачивания оси на револьверном станке или автомате при помощи соответствующих устройств, основанных преимущественно на тех же принципах, что и обтачивание конусов на токарных станках.



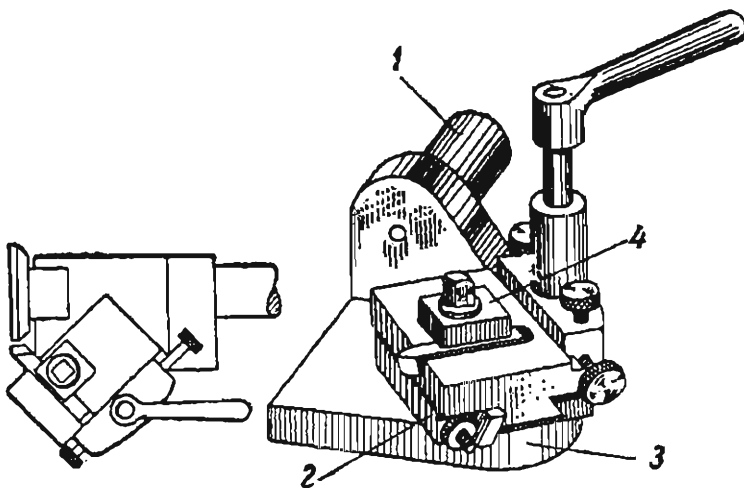
Фиг. 256.



Фиг. 257.

Наиболее характерные из устройств, предназначенных для обработки элементов конической формы на револьверных станках и автоматах, показаны на фиг. 258—263.

Устройство, изображенное на фиг. 258, по существу представляет собою супорт с поворотными салазками, хвост которого 1 закрепляется в револьверной головке.



Фиг. 258. Державка к револьверному станку для обработки конуса.

Поворотная часть 2 может устанавливаться по делениям на корпусе 3 и закрепляться в соответствии с углом конуса, который нужно получить. Резец закрепляется в ползуне прижимом 4. Ползун подается при помощи рейки и шестерни, которая приводится во вращение рукояткой.

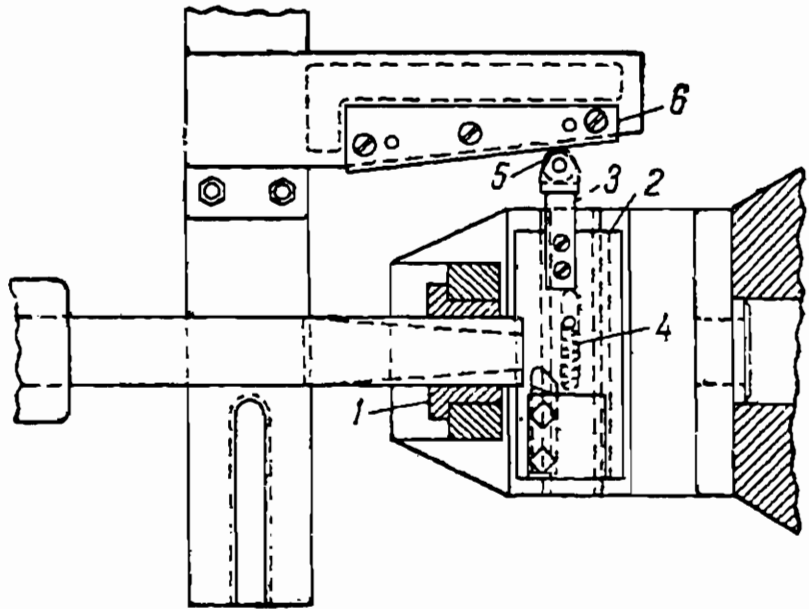
Перемещение резца ограничивается регулируемым упором. Описанное устройство является универсальным, так как позволяет обтачивать конусы с различными углами.

Применяемый на токарных станках принцип копировальной линейки может быть также использован и при револьверных работах. На фиг. 259 изображено устройство, позволяющее обтачивать на конус длинные, малоустойчивые оси. Конус, который нужно получить, показан пунктиром. Корпус устройства представляет собою кронштейн, закрепляемый в револьверной головке. На корпусе уста-

новлена стойка, в которой закреплена втулка 1, поддерживающая обрабатываемую деталь. Резец закрепляется на ползуне 2, на другом конце которого имеется стержень 3. Пружина 4 нажимает на стержень и обеспечивает этим контакт между роликом 5 и копировальной линейкой 6. Последняя присоединена к поперечному супорту, который в процессе образования конуса должен оставаться неподвижным.

Своеобразное устройство, применяемое для обтачивания конусов на автоматах, показано на фиг. 260. В радиальном направлении резцы перемещаются вращением диска 2 с эксцентричными пазами 3. Диск поворачивается при помощи стержня 4, на котором нарезана рейка. Эта рейка сцепляется с зубчатым ободом на диске 2. Стержень 4 прижимается пружиной к копировальной линейке 5, устанавливаемой на поперечном супорте.

Заслуживает внимания показанный на фиг. 261 принцип обработки конических поверхностей, применяющийся в автоматах часовой промышленности. Фреза, имеющая мелкие зубья, расположенные по конической поверхности, закреплена во вращающемся шпинделе и прижимается к заготовке, закрепленной в другом вращающемся шпинделе.



Фиг. 259.

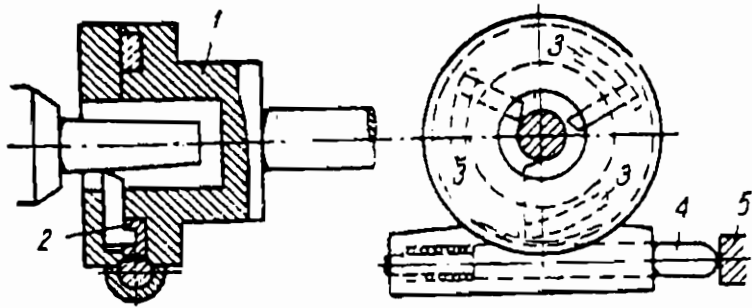
Как указано выше, конические концы у осей, вытачиваемых на автоматах из пруткового материала, образуются обычно одновременно с отрезанием.

Чтобы получить конец детали острым и предохранить его от поломки, резец следует подавать не в перпендикулярном к оси направлении, а согласно схеме, показанной на фиг. 262.

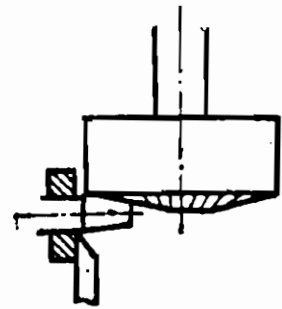
Это достигается при помощи соответствующих устройств, одно из которых изображено на фиг. 263. Резец 1 закрепляется в ползуне 2, перемещающемся по направляющим части 3, которая может поворачиваться относительно корпуса державки вокруг оси 5 и закрепляться в требуемом положении при помощи болта 6. К ползуну прикреплена рейка, сцепляющаяся с шестерней 7, соединенной с частью 3. Шестерня 7 сцепляется с шестерней 8, вращающейся вокруг оси 5.

Вследствие этого взаимное расположение шестерен сохраняется вне зависимости от угла поворота части 3 относительно корпуса державки.

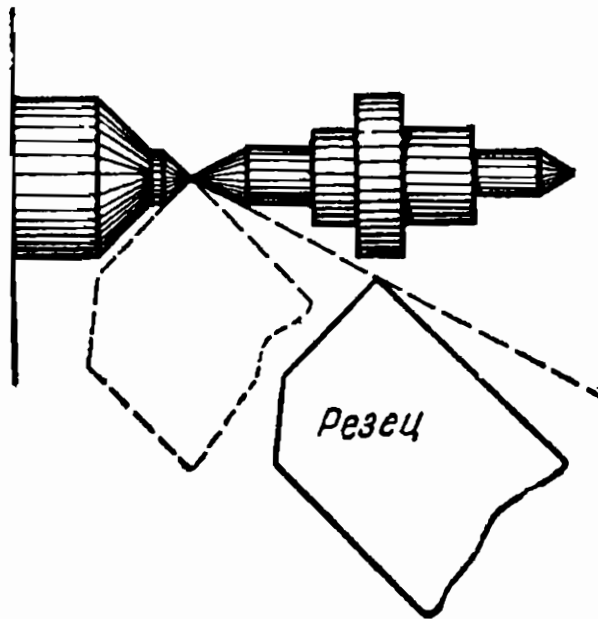
Шестерня 8, как видно из разреза по $x-x$, сцепляется с рейкой, нарезанной на плунжере 9. Этот плунжер имеет выступ, упирающийся в стержень 10, который отжимается пружиной, вследствие чего плун-



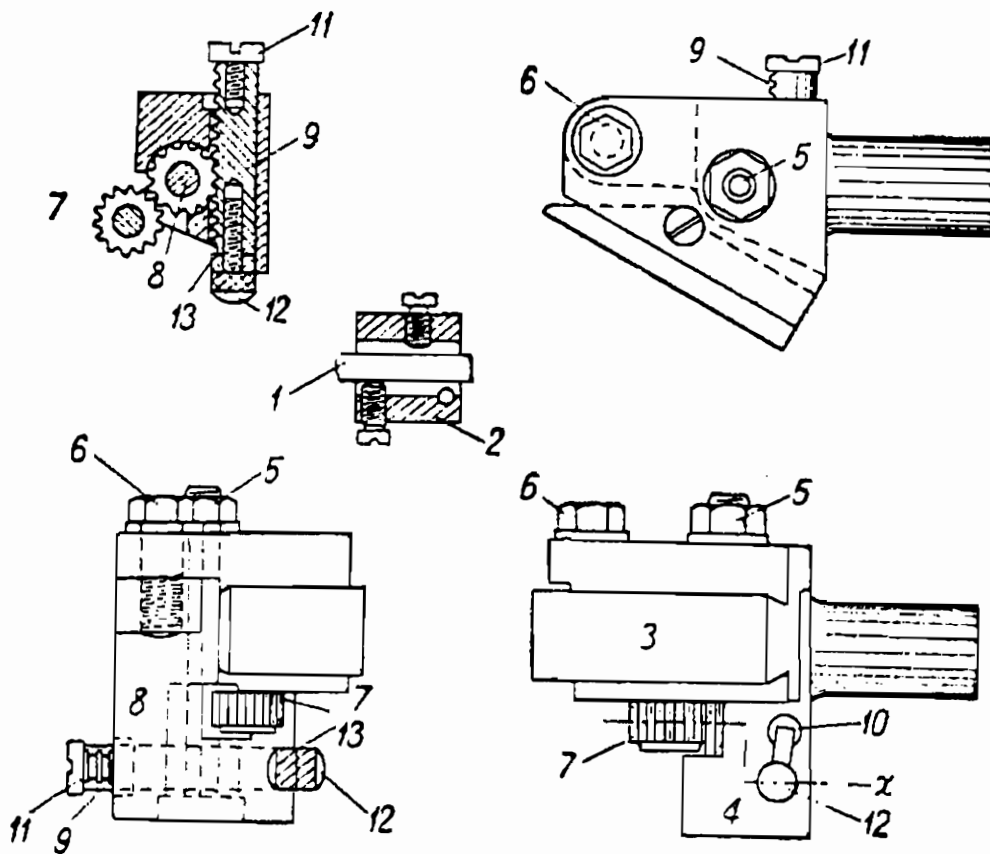
Фиг. 260.



Фиг. 261.

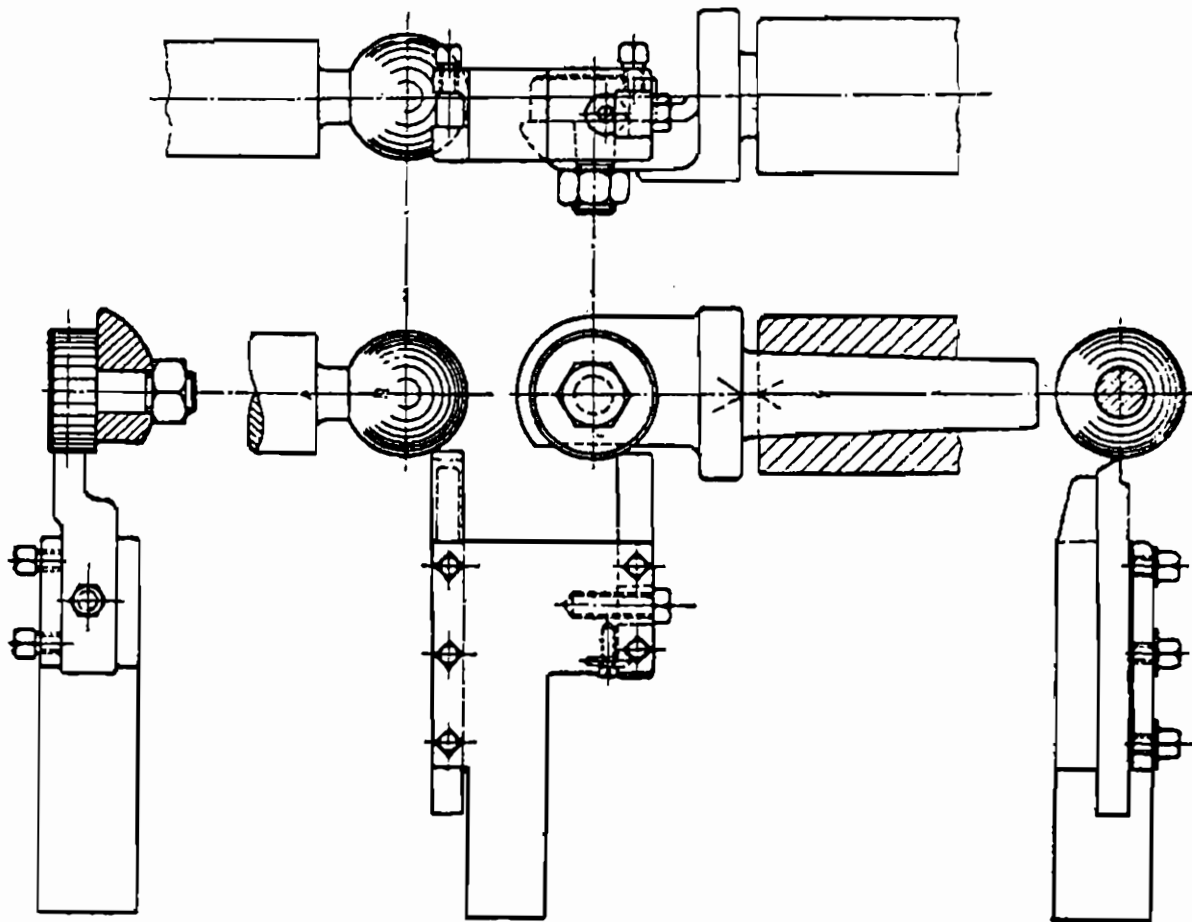


Фиг. 262. Схема образования конического конца при отрезке.



Фиг. 263. Державка для получения острого конического хвоста при отрезке.

жер находится в выдвинутом положении и удерживается при помощи ограничительного винта 11. На переднем конце плунжера 9 имеется винт 12 с накатанной головкой и контргайка 13. Винт 12 устанавливается так, чтобы он был на одной линии с планкой, прикрепленной к поперечному супорту станка, в тот момент, когда револьверная головка займет положение, соответствующее началу отрезки.



Фиг. 264. Приспособление для обтачивания шаровой поверхности.

При перемещении поперечного супорта планка нажимает на винт 12 и вдавливает плунжер 9 внутрь, вследствие чего поворачиваются шестерни 7 и 8, которые через прикрепленную к ползуну 2 рейку перемещают резец 1, отрезающий деталь и образующий конус, как показано на фиг. 262.

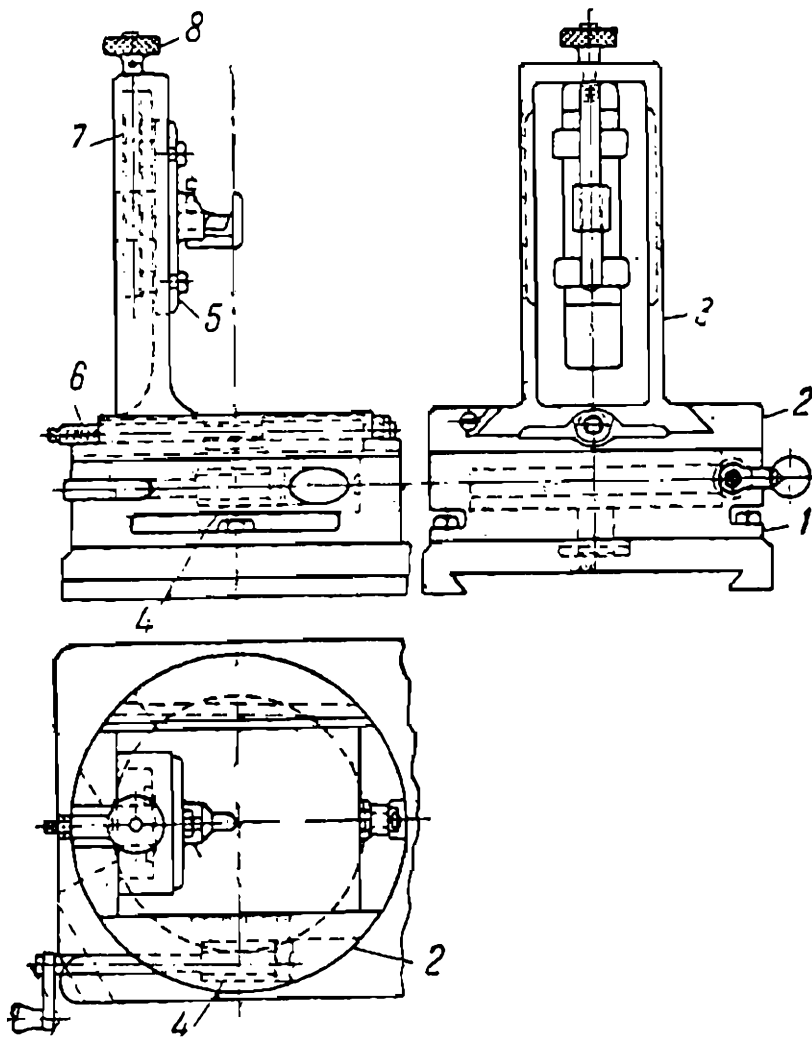
Величина перемещения резца устанавливается при помощи винта 12 и гайки 13.

Сферические поверхности можно обтачивать обычным способом при помощи копировальной линейки, придав последней форму дуги окружности.

Приспособление для обтачивания сферической поверхности по копиру, которое может быть установлено на любом токарном станке, показано на фиг. 264. Копир закреплен в державке, вставляемой коническим хвостом в шпиндель задней бабки.

На фиг. 265 изображен супорт, устанавливаемый на токарном станке, предназначенный для обработки элементов сферической формы диаметром до 50 мм. Этот супорт состоит из трех основных частей:

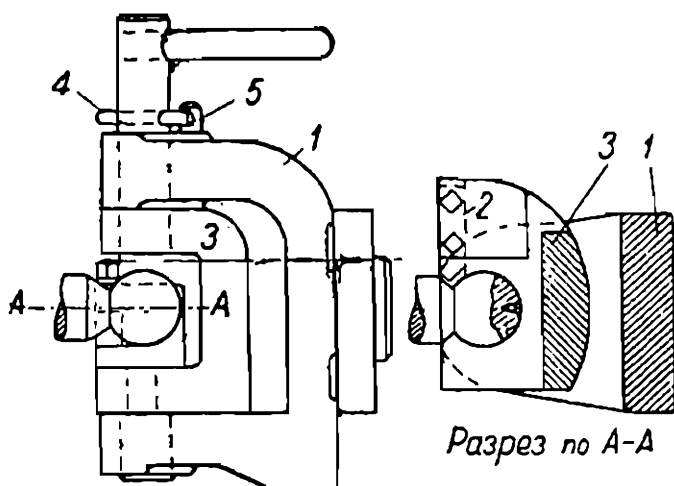
основания 1, поворотной части 2 и стойки 3. К части 2 снизу присоединен сектор, сцепляющийся с червяком 4.



Фиг. 265. Супорт для обтачивания шаровых поверхностей на токарном станке.

При вращении червяка поворачивается часть 2 вместе со стойкой 3. Вследствие этого вершина резца, закрепленного в резцедержке 5,

описывает дугу соответствующего радиуса. Величина последнего определяется по делениям, нанесенным на части 2. В нулевом положении вершина резца должна находиться на оси поворота части 2. Закрепив при помощи шаблона резец в надлежащем положении, передвигают посредством винта 6 стойку до совпадения нулевого штриха с соответствующим делением. Регулируют резец по высоте вращением винта 7 при помощи головки 8.



Фиг. 266. Державка для обтачивания шаровых поверхностей на револьверных станках.

Весьма простое приспособление для обтачивания сферической поверхности, представляющее собою по существу державку к револьверному станку, показано на

фиг. 266. Корпус 1, закрепляющийся в револьверной головке, имеет U-образную форму. Резец 2 установлен в поворотной части 3. Вращая рукоятку, вершину резца заставляют описывать дугу. Угол поворота части 3 ограничивается шпилькой 4, которая упирается в стержень 5.

Отделка

Основными методами отделки осей являются следующие¹: 1) шлифование; 2) притирка; 3) алмазное обтачивание; 4) отделка победитовым диском.

При обработке небольших осей в точном приборостроении в большинстве случаев ограничиваются либо тщательным чистовым обтачиванием (что допустимо лишь при отсутствии высоких требований в отношении чистоты поверхности), либо отделывают деталь непосредственно после обтачивания каким-либо из трех последних методов отделки.

Это объясняется следующими причинами.

1. Как промежуточная операция, предшествующая притирке или другому методу отделки, шлифование в большинстве случаев является излишним². Обычно обтачивание в точном приборостроении производится путем снятия мелкой стружки на станках не высокопроизводительных, как в машиностроении, а прецизионного типа. Остающиеся после обтачивания неровности поверхности сглаживают притиркой, следующей непосредственно за обтачиванием.

2. Значительная часть осей, применяемых в точном приборостроении, изготавливается из цветных металлов, шлифование которых затруднительно.

3. Обработка осей шлифованием в одну операцию в большинстве случаев позволяет получить удовлетворительные результаты лишь для неподвижных посадок, для подвижных же приходится разбивать шлифование на две операции: предварительное и окончательное. Для предварительного шлифования применяются мягкие круги с крупным зерном, позволяющие снимать большой слой металла. Эта операция придает детали правильную форму. При окончательном шлифовании применяются обычно более твердые камни с более мелким зерном, причем снимается весьма незначительный слой металла (несколько сотых миллиметра).

Если бы шлифование производили в одну операцию сразу твердым кругом, то операция потребовала бы значительного времени и, кроме того, твердый шлифовальный круг с мелким зерном, работающий на большой подаче, мог бы быстро засалиться и притупиться. Детали при этих условиях получают некруглой формы или вследствие высокого давления тупого круга «горят».

Для получения особенно чистых поверхностей следует шлифовать кругами с очень мелким зерном и бакелитовой связкой. В этом случае процесс шлифования распадается на три операции: а) предвари-

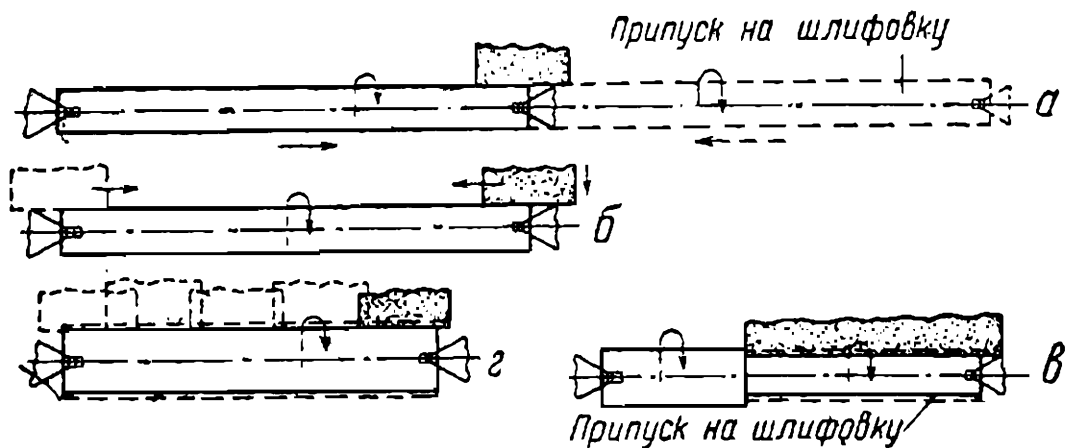
¹ Метода «супер финиш» мы не затрагиваем, так как в точном приборостроении он пока еще не применяется.

² За исключением отдельных случаев, как, например, отделка оси баланса механизма карманных часов.

тельное шлифование при большой глубине резания мягким, крупнозернистым, хорошо режущим кругом; б) последующее шлифование при малой глубине резания мелкозернистым твердым кругом; в) окончательное шлифование при минимальной глубине резания мелкозернистым бакелитовым кругом.

На фиг. 267 показаны три основных способа шлифования. Наиболее распространенным способом шлифования является шлифование путем возвратно-поступательного движения детали со столом в продольном направлении и поперечной подачи круга (а и б).

Для компенсации погрешностей, получающихся вследствие упругих деформаций, при последних проходах поперечная подача выключается и шлифование происходит «без поджима».



Фиг. 267.

При шлифовании малоустойчивых осей их приходится поддерживать при помощи люнетов. Расстояние между люнетами следует принимать равным 6—10 диаметрам. В приложении 9 приведены данные о потребном количестве люнетов в зависимости от диаметра и длины деталей.

Шлифование путем продольного движения детали является наиболее удобным способом для обработки длинных гладких осей. При шлифовании же этим способом ступенчатых осей много времени затрачивается на установку упоров.

Если разбить шлифование на столько операций, сколько имеется ступеней у оси, можно было бы для каждой ступени устанавливать упоры один раз на всю партию деталей. Этот метод пригоден лишь в том случае, если все оси зацентрованы и подрезаны одинаково. Это условие, однако, соблюдается далеко не всегда, вследствие чего приходится затрачивать много времени на регулировку упоров.

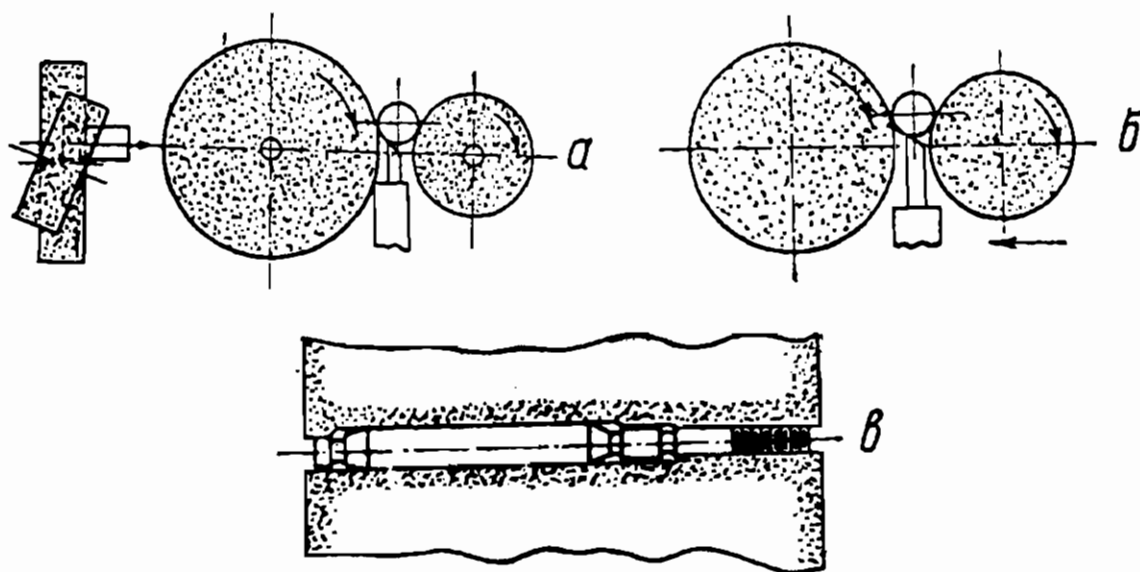
При обработке коротких осей наиболее производительным является способ шлифования методом поперечной подачи (фиг. 267, в) широкого круга. Основным препятствием к применению этого способа является недостаточная устойчивость детали.

При способе шлифования уступами (фиг. 267, г) сначала поперечной подачей камня шлифуются отдельные участки, а затем продольными проходами, обычно без «поджима», сглаживаются образовавшиеся между ними границы. Этот способ в точном приборостроении

может быть использован лишь в отдельных случаях при обработке крупных и длинных осей.

Основным преимуществом бесцентрового шлифования по сравнению с шлифованием на шлифовально-центровых станках является значительно большая производительность. Кроме того, при бесцентровом шлифовании: 1) понижаются требования к квалификации рабочего; 2) отпадает необходимость в центровании.

Принято считать, что вследствие сложности настройки станка бесцентровое шлифование является экономически выгодным лишь при массовом производстве. Как показала практика ряда передовых заводов, бесцентровое шлифование с успехом может быть использовано и в условиях производства мелкосерийного типа.



Фиг. 268. Способы бесцентрового шлифования.

Так например, по данным, взятым из практики завода «The Monarch Machine Tool Co» (США¹) бесцентровое шлифование оказалось выгодным при партии уже в пять деталей.

Основными недостатками бесцентрового шлифования являются следующие:

1) бесцентровое шлифование не обеспечивает точного совпадения осей отдельных ступеней; степень соосности зависит от степени соосности, достигнутой при предыдущей обработке, и от однородности материала;

2) при бесцентровом шлифовании имеют место бóльшие отступления от круглой формы, чем при шлифовании в центрах;

3) шпоночные, смазочные канавки и т. п. нарушают правильность работы бесцентрового шлифования и часто делают ее невозможной.

На фиг. 268 показаны два основных способа бесцентрового шлифования осей: метод сквозного шлифования (trou feed, фиг. 268, а) и метод поперечной подачи (in feed, б и в).

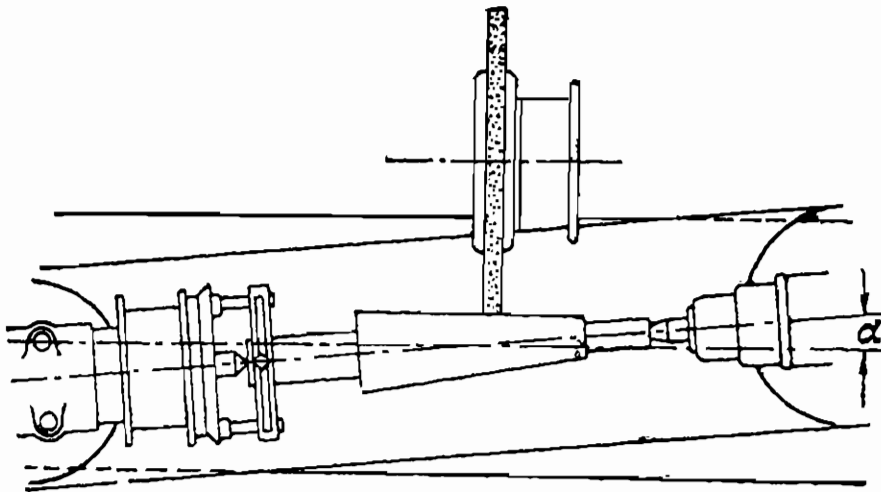
Метод сквозного шлифования применяется для обработки цилиндрических осей без выступов и широких пазов. Число проходов за-

¹ «Machinery», N. Y., 1934, Febr.

висит от требований, предъявляемых к точности обработки и чистоте поверхности. При обычных требованиях число проходов не превосходит 2—3, при повышенных доходит до шести и даже более. В последнем случае возможно выдержать допуски в 0,005 мм по диаметру

и в 0,002—0,003 мм в отношении правильности формы.

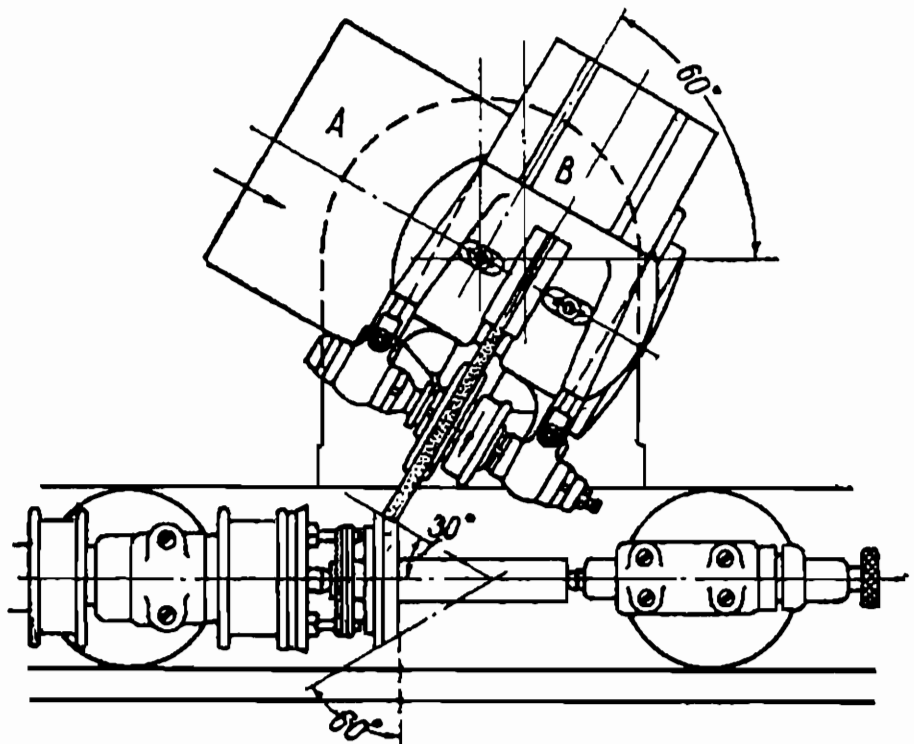
Метод шлифования поперечной подачей применяется для обработки осей с буртиками, заплечиками и ступенчатыми. Для получения высокой степени точности обработку следует вести в две операции, снимая при первой операции 0,6—0,7 об-



Фиг. 269. Шлифование пологих конусов.

щего припуска. Так как при работе по методу поперечной подачи большую часть штучного времени отнимают обычно ручные приемы, при массовом производстве целесообразно применять магазинную автоматическую зарядку.

Конические поверхности шлифуются в основном теми же методами, что и цилиндрические. Длинные конусы шлифуются способом продольного движения, направление которого должно совпадать с направлением образующей конуса. Для этого шлифовальный станок должен иметь дополнительное устройство, позволяющее повернуть верхнюю часть стола на требуемый угол (фиг. 269).



Фиг. 270. Шлифование крутых конусов.

Шлифовать этим способом крутые конусы невозможно, и обычно их шлифуют на универсальных шлифовальных станках, имеющих поворотную бабку (фиг. 270). Элементы конической формы небольшой длины можно шлифовать методом поперечной подачи или бесцентрового шлифования. В последнем случае оба круга затачиваются на конус, а деталь подается в спе-

циальном приспособлении рукой или механически между кругами до концевого упора.

Тонкое обтачивание алмазным резцом применяется для отделки деталей из цветных металлов. Для обработки чугуна и стали алмазные резцы менее пригодны, так как они хрупки и легко выкрашиваются.

До отделки алмазным резцом поверхность должна быть предварительно чисто обработана обычным резцом. Поверхности, обработанные алмазным резцом, обычно не подвергаются дальнейшей отделке, так как при этом методе обработки получаются весьма чистая поверхность и высокая точность размеров. Это объясняется следующими причинами. Обработка алмазными резцами ведется при весьма высокой скорости резания, а как известно, при работе в зоне высоких скоростей поверхность получается чище благодаря тому, что кристаллы обрабатываемого материала разрезаются лезвием, а не выкрашиваются и не заминаются. Явление «нароста», которое обычно имеет место при обработке в зоне средних скоростей, при обработке алмазом отсутствует.

При обтачивании алмазным резцом можно снимать стружку значительно меньшей толщины, чем при обычных резцах. Подача измеряется сотыми долями миллиметра и даже микронами. При малой глубине резания обычный резец быстро изнашивается механически. При алмазном же резце, обладающем высоким сопротивлением истиранию, механический износ, даже при весьма незначительной глубине резания, существенного значения не имеет.

Алмазный резец имеет вспомогательный угол в плане $\psi' = 2^\circ$, вследствие чего он не только режет, но и заглаживает неровности обрабатываемой поверхности. Кроме того, алмаз имеет чрезвычайно малое сродство с обрабатываемыми им материалами, что снижает возможность налипания стружки на резец. Коэффициент трения стружки об алмазный резец весьма мал, что обеспечивает хорошее сбежание стружки.

Стойкость алмазного резца во много раз превышает стойкость обычных резцов и измеряется сотнями часов машинного времени.

Обработка алмазом обычно производится без эмульсии, вследствие чего для дальнейшей никелировки или покрытия другим металлом не требуется обезжиривания.

Вращающиеся пары, обработанные алмазом, обладают в эксплуатации высокой износоустойчивостью. Объясняется это тем, что при отделке алмазным резцом на поверхности остается большое количество гребешков при небольшой глубине впадины между ними.

Отделка деталей из цветных металлов алмазным резцом с успехом применяется на ряде предприятий точного приборостроения.

Основными факторами, ограничивающими широкое распространение указанного метода, являются следующие:

- 1) необходимость применения специальных станков, обладающих высокими скоростями резания, малыми подачами и сконструированными с таким расчетом, чтобы в максимальной степени уменьшить вибрации;

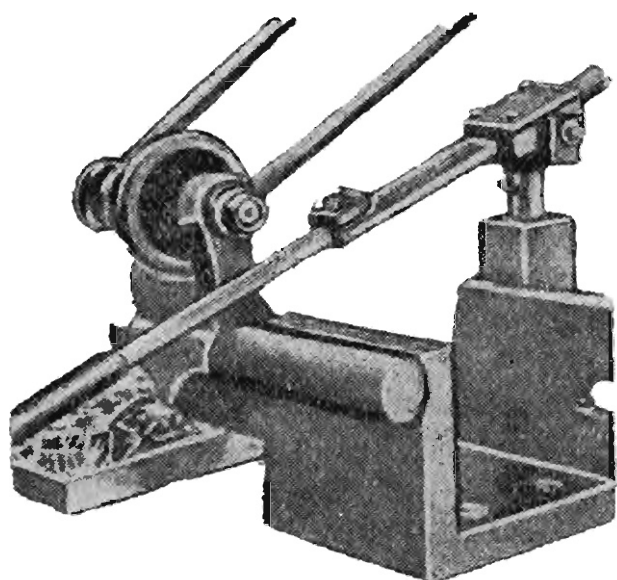
2) трудности, связанные с точной балансировкой при весьма высоком числе оборотов детали и зажимного устройства;

3) дороговизна алмаза.

При отсутствии особо высоких требований к качеству поверхности деталей алмазные резцы возможно заменить резцами из твердых сплавов с доведенным лезвием.

Рассмотрим наиболее характерные из способов механической притирки, предназначенные для отделки осей в точном приборостроении.

На фиг. 271 показан осуществляемый одной из английских приборостроительных фирм способ притирки цилиндрических деталей при помощи бруска.



Фиг. 271.

Для грубой отделки нерабочих частей мелких осей (в целях предохранения от коррозии и придания внешнего вида) можно применить притирку при помощи так называемого грибка, представляющего собою пустотелый чугунный или латунный конус, имеющий на большем конце цилиндрический участок. Для лучшего удержания шлифующей

массы на рабочей поверхности путем шлифования ее грубым камнем наносятся риски.

В процессе притирки грибок прижимается к оси (или наоборот). Ось и грибок вращаются в разные стороны.

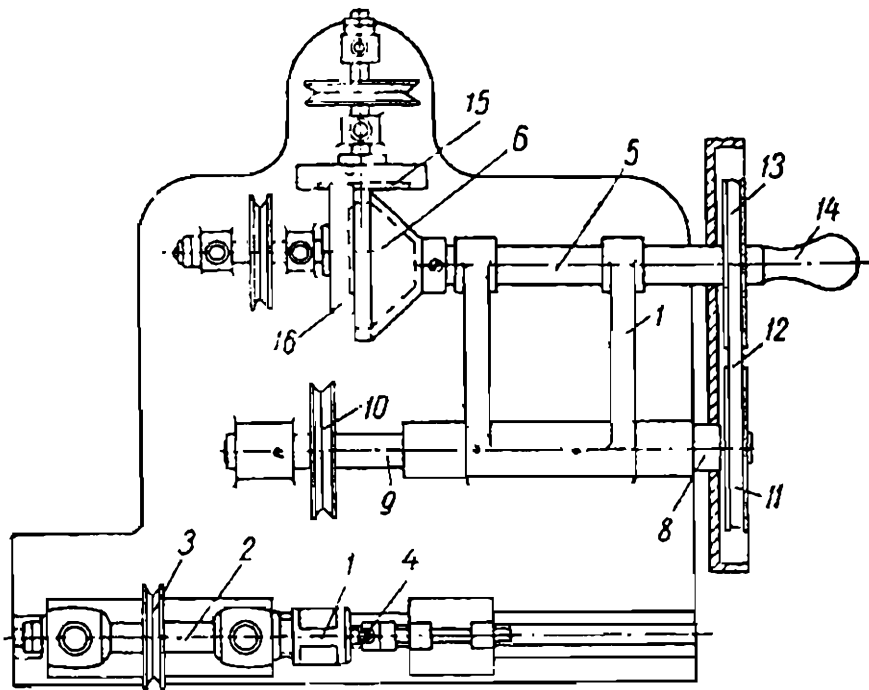
На фиг. 272 показан станок 1-го часового завода для притирки осей при помощи грибка. Притираемая деталь устанавливается в патроне 1, закрепленном на шпинделе 2 передней бабки. Шпиндель 2 приводится во вращение посредством шкива 3. Грибок 6 укреплен на шпинделе 5, который вращается в подшипниках кронштейна 7. Последний может поворачиваться вокруг полой оси 8; внутри которой находится валик 9, приводимый во вращение шкивом 10. От валика 9 вращение передается посредством шкивов 11 и 13 и ремня 12 шпинделю 5.

В положении, показанном на фиг. 272, затачивается грибок, для чего его прижимают к вращающимся наждачным камням 15 и 16. В процессе притирки грибок прижимают к детали, для чего кронштейн с грибком поворачивают в соответствующее положение при помощи ручки 14. В данном случае ширина цилиндрической части грибка должна быть больше, чем длина притираемой цапфы, так как ни деталь, ни грибок продольного перемещения не имеют.

При притирке длинных осей следует применять станки, в которых предусмотрено возвратно-поступательное перемещение детали в продольном направлении.

В случаях, когда поверхность оси должна быть отделана более тонко, чем это достигается при притирке с помощью грибка, можно прибегнуть к способу, схематически показанному на фиг. 273. Здесь притирка производится при помощи крестообразной призмы 1, с концами, заостренными под прямым углом. Призма одним из концов прижимается к притираемой оси, а другим опирается на неподвижную

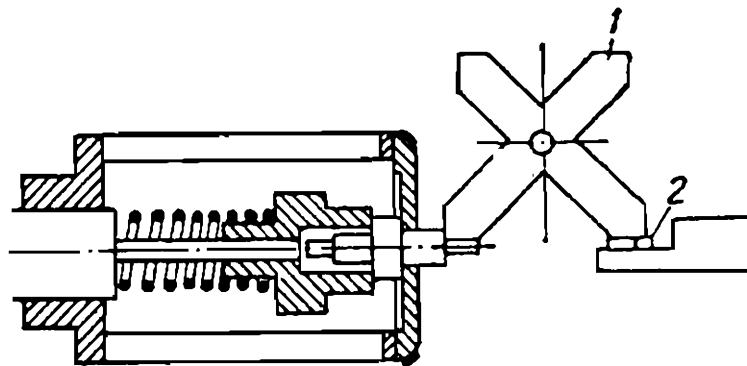
агатовую подушку 2. В процессе притирки деталь вращается, а призма совершает возвратно-поступательные движения. Скорость движения призмы значительно превосходит окружную скорость вращения де-



Фиг. 272. Станок для притирки осей при помощи «грибка».

тали, чем достигаются периодические изменения направления относительной скорости призмы и детали. Это, как установлено опытным путем, способствует улучшению качества поверхности детали. Станки, основанные на этом принципе, носят название «Виг-Ваг».

На фиг. 274 показана схема подобного станка, построенного на 1-м часовом заводе.

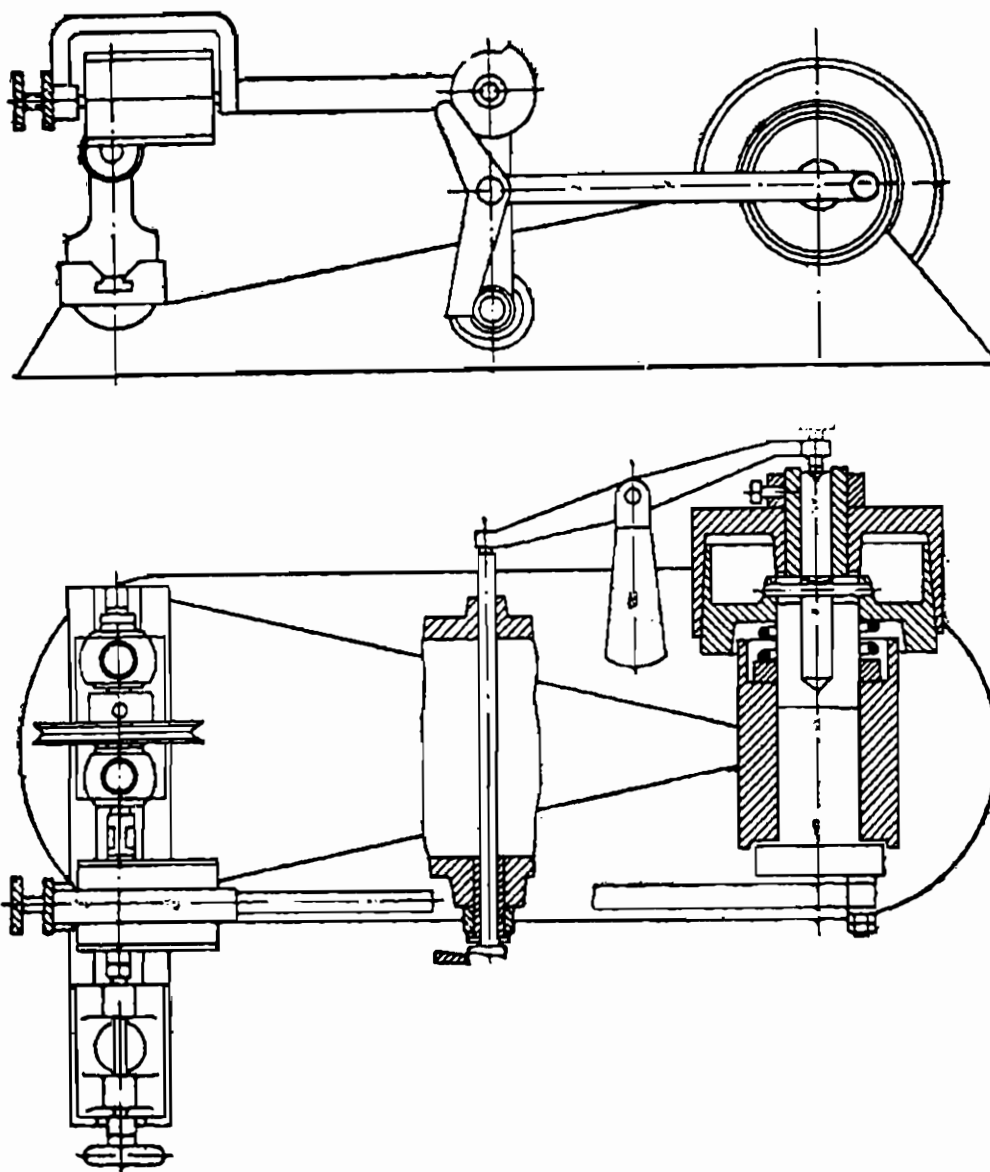


Фиг. 273.

Для притирки гладких осей средних размеров диаметром от 4 мм и выше в условиях массового производства применяют способ, показанный на фиг. 275. Деталь притирается двумя дисками, отлитыми из специального плотного чугуна, точно отшлифованными, полированными и тщательно приработанными друг к другу (фиг. 275, а). Детали свободно укладываются в гнезде специальной обоймы (фиг. 275, б).

Существуют два типа станков: 1) станок с одним вращающимся диском и другим неподвижным, 2) станок с двумя дисками, вращающимися в противоположные стороны. У станка первого типа вращение сообщается нижнему диску. Верхний невращающийся диск ложится на детали. В современных стан-

Жах давление верхнего диска регулируется гидравлическим прибором, что позволяет устанавливать различные давления для предварительной и окончательной притирки. Обоймы, в которые укладываются детали, вращаются медленнее диска: вращение их эксцентрично, благодаря чему создается движение качения и скольжения. Величина эксцентриситета обоймы поддается регулировке. Чтобы избежать образования канавок на диске, детали устанавливаются под некоторым углом к радиусу, т. е. оси деталей не проходят через центр диска.



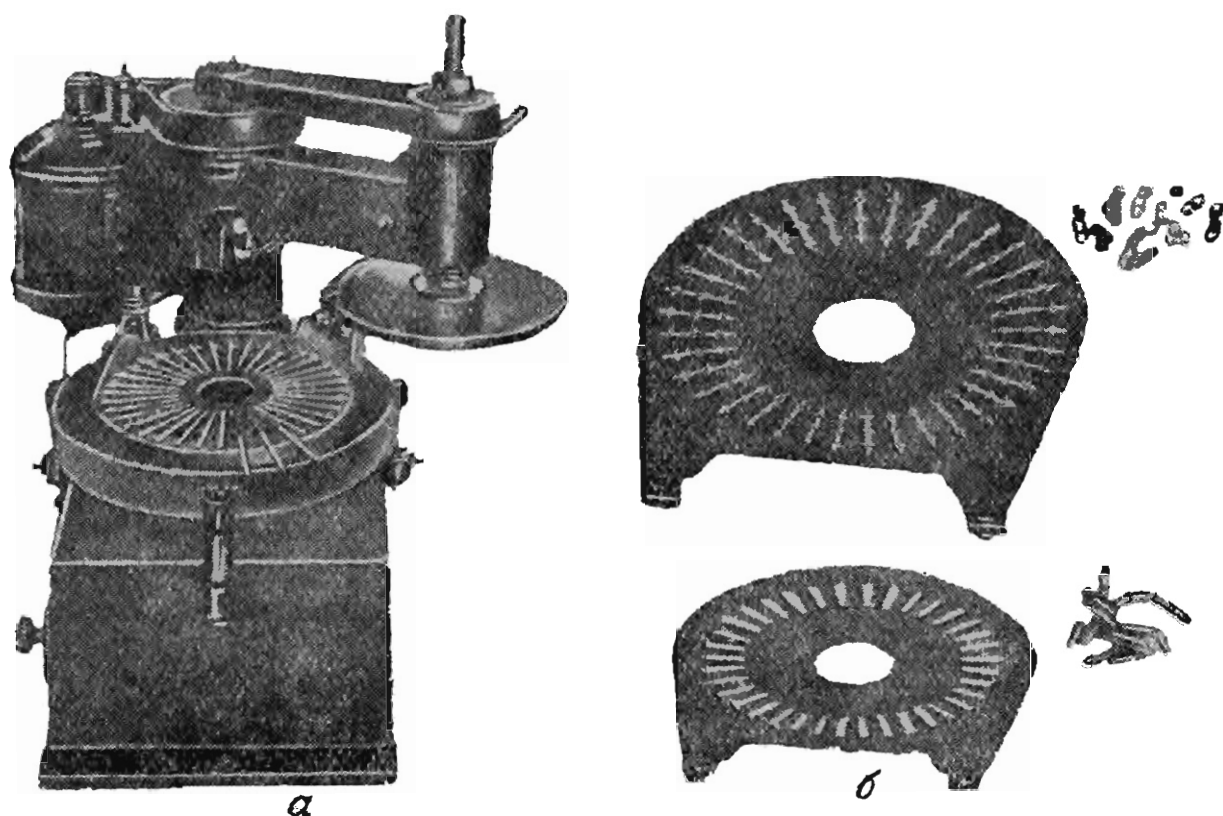
Фиг. 274.

Если требуется получить особенно гладкую поверхность, применяется диск из целлулоида или твердого дерева (пальмы), причем рабочая поверхность все время смачивается раствором венской извести. Детали необходимо предварительно отшлифовать мелкозернистым наждачным кругом. Подобный метод применяется, например, на часовых заводах для отделки цапф оси баланса.

Отделка осей победитовым диском получила за последние годы широкое распространение на предприятиях точного приборостроения.

Схема этого способа применяемого на станке «Стандарт», показана на фиг. 276. Деталь устанавливается в центрах или в цанге и приводится во вращение. Диск из победита с рисками на наружной цилиндрической поверхности вращается на оси, закрепленной в рычаге, качающемся вокруг точки O . Нажимая на

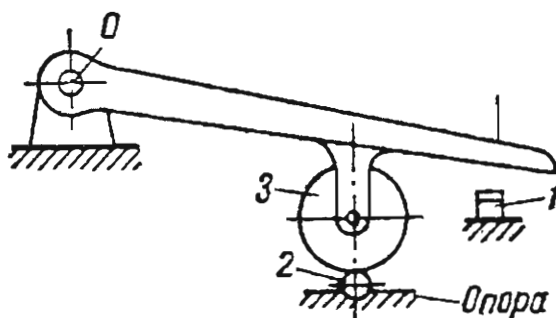
правый конец рычага, рабочий прижимает диск к детали. Отделка заканчивается тогда, когда правый конец рычага доходит до упора. Детали предварительно должны быть точно обработаны, причем на отделку оставляется припуск 0,02—0,04 мм.



Фиг. 275.

Этот метод применяется преимущественно для отделки стальных закаленных деталей и дает зеркальную поверхность; он с успехом может быть использован и для отделки деталей из мягкой стали или латуни. Рабочее время составляет от 3' до 50 сек. в зависимости от размера детали.

Основной недостаток этого метода в том виде, как он применяется в настоящее время и как он показан на схеме (фиг. 276), заключается в следующем. Чтобы получить точные размеры деталей, необходимо довести рычаг до упора и затем дать определенную выдержку, соответствующую проходам «без поджима» при шлифовании камнем. На самом деле эти условия обычно не соблюдаются, так как уловить момент соприкосновения рычага с упором весьма трудно, вследствие чего невозможно обеспечить требуемую степень точности размеров. Как уже упоминалось в первой части книги, автором был проведен на 1-м часовом заводе следующий опыт. Была замерена партия деталей до отделки (после обработки на автомате «Торнос») и после отделки победитовым кругом на станке «Стандарт». На основании замеров были построены соот-



Фиг. 276. Схема отделки на станке типа «Стандарт». 1—упор, 2—деталь, 3—победитовый диск.

ветствующие кривые распределения (фиг. 17) и определены средние квадратические отклонения. Из сопоставления кривых распределения, а также значений средних квадратических отклонений (до отделки — 9μ , после отделки — 12μ) ясно видно, что в результате отделки рассеивание размеров не только не уменьшается, но значительно увеличивается.

Чтобы устранить этот недостаток, по предложению автора применили следующее несложное устройство. К упорным плоскостям рычага и упора были приделаны контакты. При доведении рычага до упора контакты замыкались, что вызывало зажигание электрической лампочки. Лишь после этого станок останавливали и диск отводили от детали. Этим обеспечивались доведение рычага до упора и необходимая выдержка. С применением этого устройства была отделана партия деталей в количестве 269 шт. в тех же производственных условиях. Среднее квадратическое отклонение оказалось равным 5μ .

Таким образом при применении данного устройства рассеивание не увеличивается, как это имеет место при обычном методе работы, а уменьшается примерно в два раза. Проведя некоторые дополнительные исследования, в частности изучив влияние выдержки, можно будет, несомненно, еще более повысить точность работы.

В. Обработка втулок

Термином «втулка» обозначаются детали, имеющие наружные и внутренние поверхности вращения, лежащие на одной оси. Диаметр втулок одного порядка с длиной в отличие от деталей, называемых (по терминологии проф. Соколовского) «дисками», у которых длина незначительна по сравнению с диаметром. При обратном соотношении размеров и при небольшой толщине стенок мы имеем трубы¹.

Основной технологической задачей для класса втулок является получение соосных друг с другом наружной цилиндрической поверхности и цилиндрического отверстия. Каждая из этих поверхностей может быть гладкой или ступенчатой, т. е. состоять из отдельных участков различных диаметров.

При разрешении этой задачи необходимо обеспечить:

- 1) в отношении каждой отдельной поверхности — соблюдение требований, изложенных на стр. 209 (в отдельных случаях наружная цилиндрическая поверхность может оставаться необработанной);
- 2) соосность наружной поверхности и отверстия.

Втулки крупных диаметров изготавливают либо из труб, пропуская последние сквозь шпиндель револьверного станка², либо из полых заготовок, полученных путем отрезки от трубы, или же посредством литья, либо штампования.

Маленькие втулки обычно вытачиваются из пруткового материала. Изготовление маленьких втулок литьем под давлением или штампованием целесообразно преимущественно в тех случаях, когда имеется возможность полностью избежать механической обработки.

¹ Изготовление труб рассматривается в специальной части курса, посвященной технологии оптико-механических приборов.

² Для этого предназначены специальные револьверные станки (например, фирмы Ауэрбах) при малых габаритных размерах и небольшой мощности, имеющие в шпинделе отверстие большего диаметра.

Технологические процессы обработки втулок, изготавливаемых из полых заготовок, строятся обычно по одной из следующих основных схем:

1) внутренние и наружные поверхности обрабатываются в одну установку;

2) сначала обрабатывается наружная поверхность, а затем отверстие;

3) сначала обрабатывается отверстие, а затем наружная поверхность.

В отношении соосности наиболее благоприятные условия имеют место при работе по схеме 1. Здесь основными причинами вызывающими отступления от концентричности, являются лишь неточности оборудования и деформации заготовки.

При обработке втулки по схеме 2 или 3 прибавляются еще и неточности установки.

Обработать втулку полностью в одну установку представляется возможным лишь тогда, когда деталь имеет необрабатываемые поверхности, за которые ее можно закрепить. В отдельных случаях можно заготовку сделать длиннее детали на величину, потребную для зажатия ее в патроне. При схеме 2 труднее выдержать концентричность, чем при схеме 3. Это объясняется следующими причинами:

1) при обработке отверстий, в особенности длинных, обеспечить правильное положение оси, вследствие недостаточной жесткости инструмента, обычно невозможно; если установка производится по ранее обработанной наружной поверхности, это обстоятельство будет иметь следствием отступление от концентричности; наоборот, если у втулки обработать раньше отверстие, а затем ее надеть на оправку и проточить снаружи, увод сверла на концентричности не отразится;

2) надевая втулку обработанным отверстием на оправку, можно добиться значительно большей точности установки, чем центрируя ее по наружной поверхности.

Вследствие изложенных причин в большинстве случаев втулки обрабатывают по схеме 3, т. е. сначала обрабатывают отверстие, а затем наружную поверхность.

Установка втулок

Имеется много различных конструкций приспособлений, предназначенных для установки втулок. Мы ограничимся лишь кратким обзором и сравнительной характеристикой основных типов. Более подробные сведения содержатся в специальных пособиях по приспособлениям.

Установка по наружной поверхности

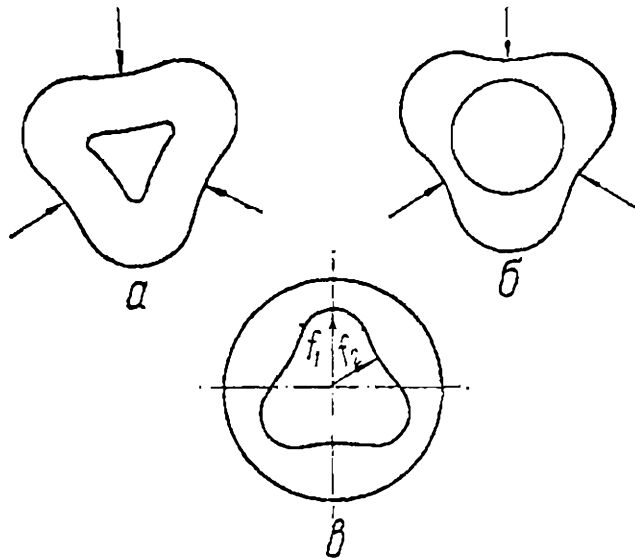
При закреплении тонкостенных втулок в кулачковом патроне деталь под действием зажимного усилия деформируется, что может вызвать значительные искажения формы обрабатываемого отверстия.

Предположим, что втулка закреплена в трехкулачковом патроне. Рассмотрим три момента.

1. Кольцо закреплено, но не обработано. Под действием зажимных усилий кольцо прогнется под кулачками и примет форму, утрировано показанную на фиг. 277, а.

2. После расточки, но до освобождения из зажима, наружная поверхность останется без изменений, отверстие же примет цилиндрическую форму (фиг. 277, б).

3. После расточки кольца и освобождения его из зажима наружная поверхность делается цилиндрической, зато отверстие исказится и примет форму, показанную на фиг. 277, в. Это нетрудно установить на фиг. 277, б, где ясно видно, что толщина стенки под кулачками меньше нормальной, между кулачками — больше.



Фиг. 277.

Очевидно, разность между наибольшим и наименьшим радиусами отверстия можно считать равной сумме прогибов в точках А и В кольца, находящегося под действием трех сил.

Задача по определению этих прогибов, по предложению автора, была решена доц. С. И. Блинным. В соответствии с окончательными выводами т. Блинного деформация под силой равна:

$$\delta_{1p} \text{ (при } \alpha = 0) = \frac{0,0135 PR^3}{EI},$$

деформация под углом $\alpha = 60^\circ$

$$\delta_{1p} \text{ (при } \alpha = 60^\circ) = \frac{0,00267 PR^3}{EI}.$$

Приведем числовой пример. Требуется расточить стальную втулку диаметром 150 мм, шириной 20 мм и толщиной 5 мм. Зажимное усилие $P = 100 \text{ кг}$.

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{2 \cdot 0,5^3}{12} = 0,0208 \text{ см}^4.$$

Деформация под силой

$$\delta_{1p} \text{ (при } \alpha = 0) = \frac{0,0135 \cdot 100 \cdot 7,25^3}{2 \cdot 10^8 \cdot 0,0208} = 0,0124 \text{ см.}$$

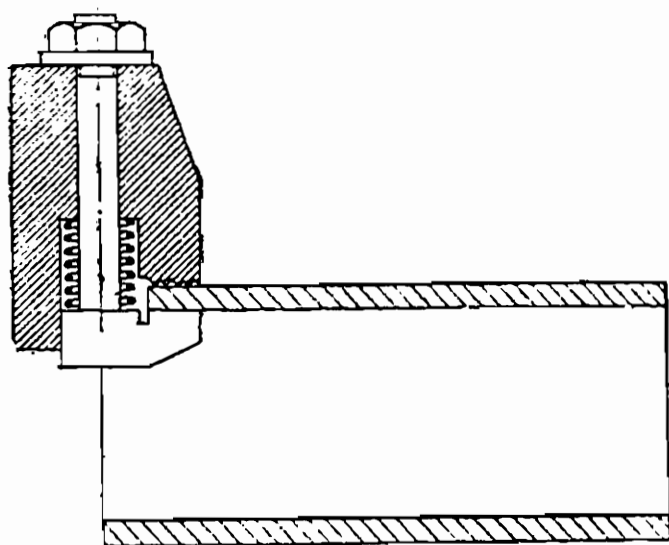
Деформация под углом $\alpha = 60^\circ$

$$\delta_{1p} \text{ (при } \alpha = 60^\circ) = \frac{0,00267 \cdot 100 \cdot 7,25^3}{2 \cdot 10^8 \cdot 0,0208} = 0,00251 \text{ см.}$$

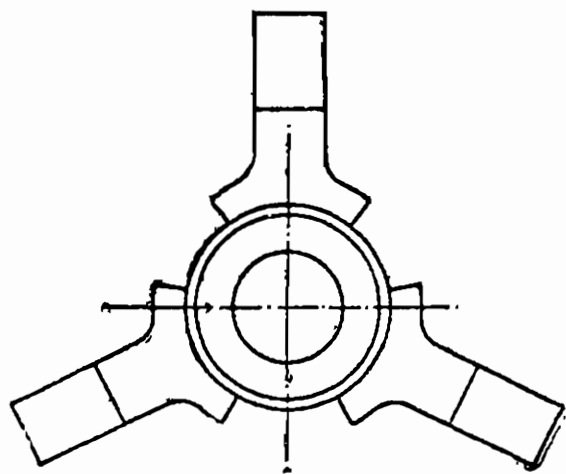
Полученные значения деформаций недопустимы для точной обработки отверстия.

При применении пневматических патронов деформации втулок бывают меньше, чем при патронах, приводимых вручную. Это объясняется тем, что ручные зажимы могут отпустить деталь. Пневматические зажимы вследствие непрерывного давления сжатого воздуха этого недостатка не имеют. Усилие зажима при пневматических зажимах благодаря этому может быть меньше, чем при ручных, что обуславливает и меньшую деформацию детали. При ручном зажиме никакая сила в процессе работы на кулачок не действует. Во избежание проскальзывания изделия (в случае, если материал в месте зажима «сдаст») нужно, чтобы зубчики кулачка заранее проникли в материал достаточно глубоко. Для этого, очевидно, необходимо приложить значительное зажимное усилие.

В противоположность этому, если материал «сдаст» при пневматическом патроне, зубчики, находящиеся под неизменным давлением, сами проникнут глубже в изделие. Благодаря этому первоначальное проникновение, а следовательно, и соответствующее зажимное усилие может быть взято во втором случае значительно меньше, чем в первом. Так, например, при закреплении кольца шарикового подшипника в пневматическом патроне потребовалось зажимное усилие, составлявшее лишь около трети от усилия, требуемого при ручном патроне.



Фиг. 278. Патрон со специальными губками для уменьшения деформаций деталей.

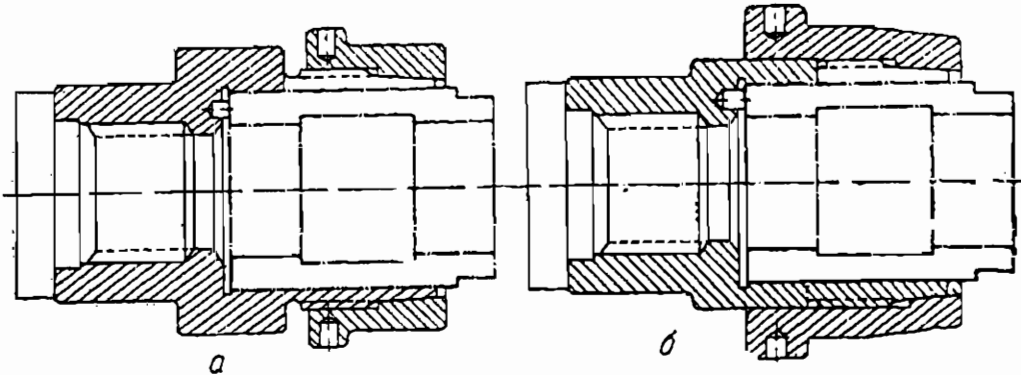


Фиг. 279. Патрон с мягкими кулачками.

Другим способом уменьшения деформаций детали является замена нормальных кулачков специальными. Схема одного из подобных кулачков показана на фиг. 278. При закреплении кулачок слегка прижимается к наружной поверхности втулки, после чего затягивается болт.

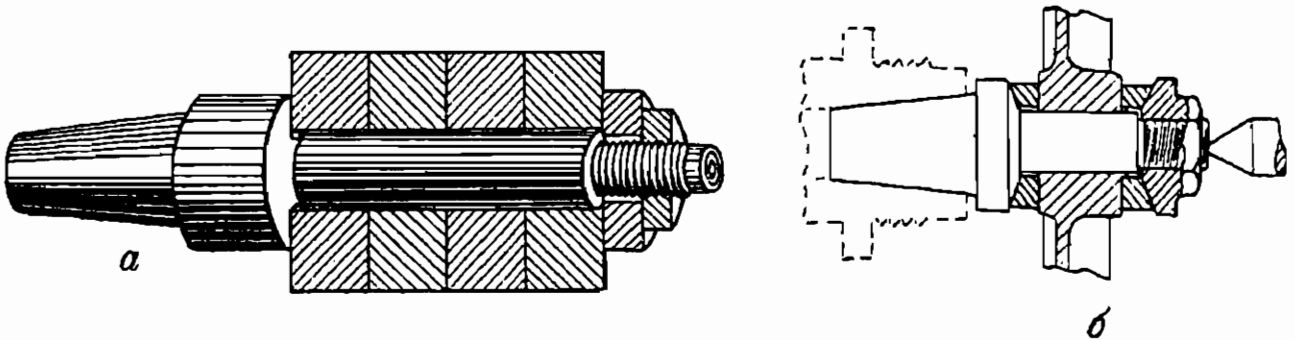
При закреплении втулок, изготовляемых из труб или имеющих обработанную наружную поверхность, можно применить мягкие кулачки, имеющие специальную форму (фиг. 279).

Трехкулачковые самоцентрирующиеся патроны обычного типа не следует применять в тех случаях, когда работа ведется по схеме 2 и требуется строго выдержать соосность обрабатываемого отверстия с ранее обработанной наружной поверхностью, так как эти патроны быстро разбалтываются, а также обладают конструктивными недостатками¹.



Фиг. 280. Патроны цангового типа.

Значительно более пригодны для закрепления полых заготовок различные патроны и приспособления цангового типа. Одна из распространенных конструкций таких патронов показана на фиг. 280, а. Недостаток этой конструкции заключается в том, что гайка не центрируется, так как она навинчена на ту часть корпуса патрона, которая имеет прорезы. В этом отношении лучше конструкция, показанная на фиг. 280, б.



Фиг. 281. Цельная цилиндрическая оправка.

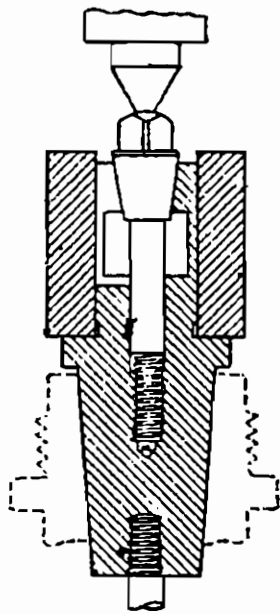
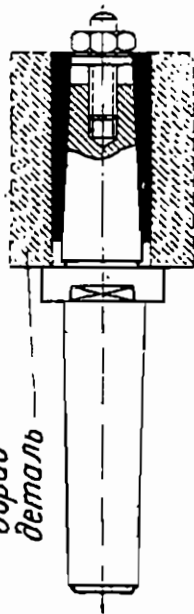
Для установки втулок, имеющих обработанные отверстия и торцы, перпендикулярные оси отверстия, в индивидуальном или серийном производстве можно применять цельные цилиндрические оправки (фиг. 281, а). Эксцентricность между наружной поверхностью, обработанной при установке детали на оправку указанного типа, и отверстием зависит, очевидно, от допуска на диаметр отверстия. Обычно считают, что при применении подобных оправок отверстие должно быть обработано по 2-му или 3-му классам точности. Если предыдущая обработка втулки не обеспечивает перпендикулярности торцов по отношению к оси отверстия, следует применить оправку, показанную на фиг. 281, б.

¹ Более подробно см. М ю л л е р, Приспособления для холодной обработки металлов, ОНТИ, 1932.

Конусность 0,03-0,05



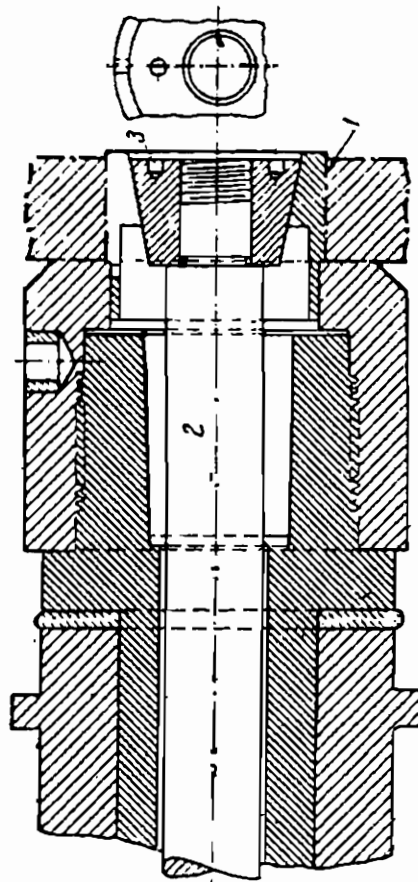
Обработана деталь



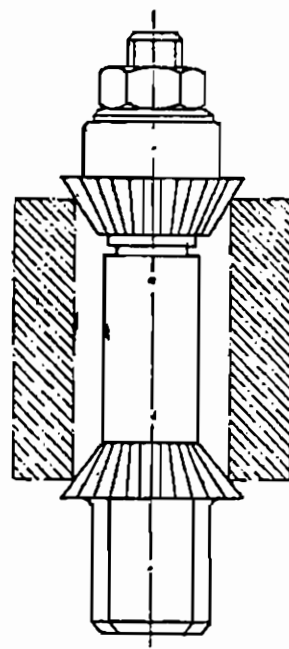
Фиг. 282. Конусная оправка.

Фиг. 283. Разжимная оправка с неразрезной цапгой.

Фиг. 284. Цанговая оправка.



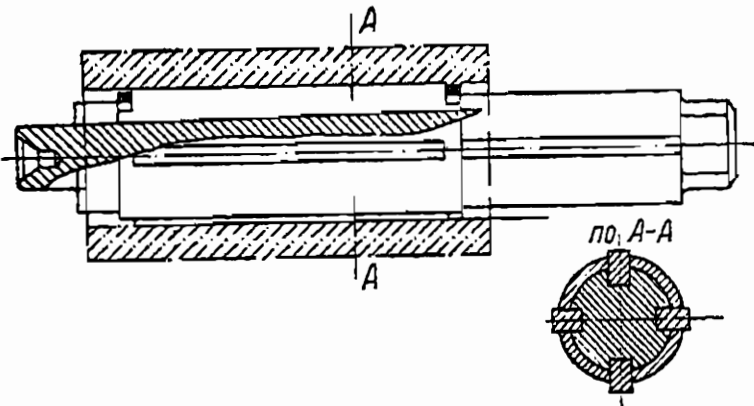
Фиг. 285.



Фиг. 286.

В тех случаях, когда положение детали в продольном направлении роли не играет, применяют цельные конусные оправки по фиг. 282 (преимущественно в индивидуальном производстве).

В серийном и массовом производстве при наличии очень высоких требований к точности центрирования, если отверстие обработано по 1-му классу точности, можно использовать оправки с неразрезной цангой (фиг. 283). Здесь деталь зажимается за счет упругих деформаций втулки. Если особенно высокой степени точности не требуется, применяют цанговые разрезные оправки (фиг. 284):



Фиг. 287. Оправка кулачкового типа.

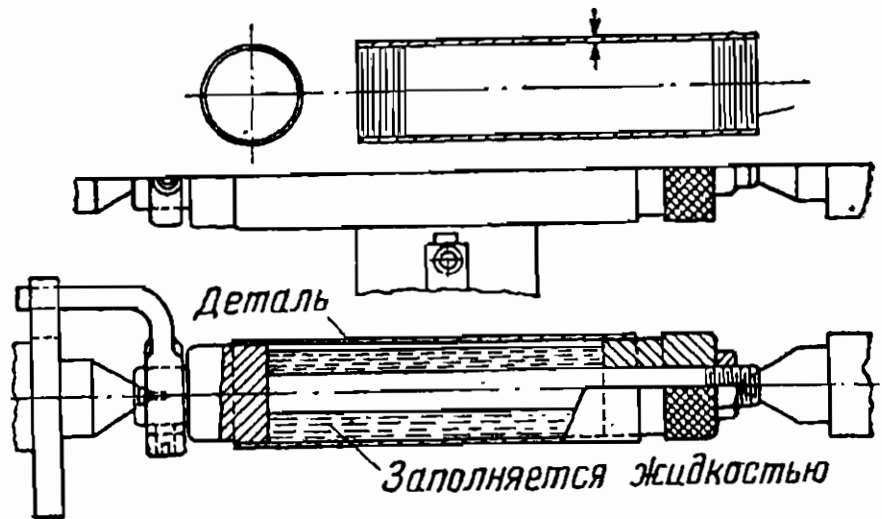
У втулок, надеваемых на цанговые разрезные оправки, отверстие должно быть обработано с допуском до 0,75 мм.

На фиг. 285 показано устройство, позволяющее закреплять детали с отверстиями различных диаметров. Гильза 1 является сменной, она отвинчивается от стержня 2 ключом, вставляемым в отверстие 3.

Для установки втулок при черновой обработке применяются оправки с подвижным конусом (фиг. 286).

Втулки, имеющие необработанные или обработанные предварительно отверстия, устанавливаются чаще всего на кулачковых оправках (фиг. 287). Эти оправки непригодны для тонкостенных деталей. При достаточно большом диаметре отверстия втулку можно закрепить в разжимных кулачках нормальных кулачковых патронов.

На фиг. 288 показана оправка, предназначенная для обработки весьма тонкостенных труб.



Фиг. 288. Оправка для весьма тонкостенных втулок.

Обработка отверстий

Основные схемы обработки отверстий

Отверстия большого диаметра (больше 50 мм) у втулок, изготовляемых из полых заготовок, обычно растачиваются. Нормальная степень точности, получаемая при чистовом растачивании, соответ-

стствует 4-му классу ОСТ, а при тщательной работе — 3-му классу. При очень коротких отверстиях можно добиться даже 2-го класса точности.

Наиболее распространенными методами обработки отверстий средних диаметров (от 12 до 50 мм) являются зенкерование и развертывание.

В табл. 28 приведено несколько типовых схем обработки отверстий средних диаметров.

Схемы обработки, приведенные в табл. 28, относятся к отверстиям нормальной длины и нормальным условиям обработки.

При обработке длинных отверстий ($l > 2d$) число проходов зенкером увеличивают до трех и больше.

Отверстия небольших диаметров (до 12 мм) обычно развертывают непосредственно после сверления, причем достигается точность 3-го и даже 2-го класса.

Сравнительная характеристика основных методов обработки отверстий

Р а с т а ч и в а н и е втулки может производиться следующими основными методами:

1) деталь устанавливается в патроне, соединенном со шпинделем станка, резец закрепляется в супорте (фиг. 291, а);

2) деталь устанавливается в патроне, соединенном со шпинделем станка, но резец закрепляется в скалке (борштанге), проходящей сквозь направляющую втулку (фиг. 291, б);

3) деталь установлена в супорте, резец закреплен в патроне, соединенном со шпинделем (фиг. 291, в);

4) деталь установлена в супорте, резец закреплен в скалке (борштанге), установленной в центрах станка или имеющей опору справа (фиг. 291, г).

К 3 и 4-му методам часто прибегают в тех случаях, когда требуется обработать отверстие у громоздкой детали, установка которой на вращающейся планшайбе (или в патроне) сопряжена с затруднениями. Следует, однако, отметить, что между методами 1 и 2-м и 3 и 4-м имеется разница принципиального характера, заключающаяся в следующем. При методах 1 и 2-м вращается деталь. Несовпадение направления подачи резца с осью вращения детали вызывает искажения размеров и формы отверстия, но не отражается на положении оси отверстия. При методах 3 и 4-м вращается инструмент. Если втулка отцентрирована по наружной поверхности, но направление подачи резца не совпадает с осью шпинделя, это вызовет соответствующие расхождения между осями наружной поверхности и отверстия, но не отразится на диаметре отверстия.

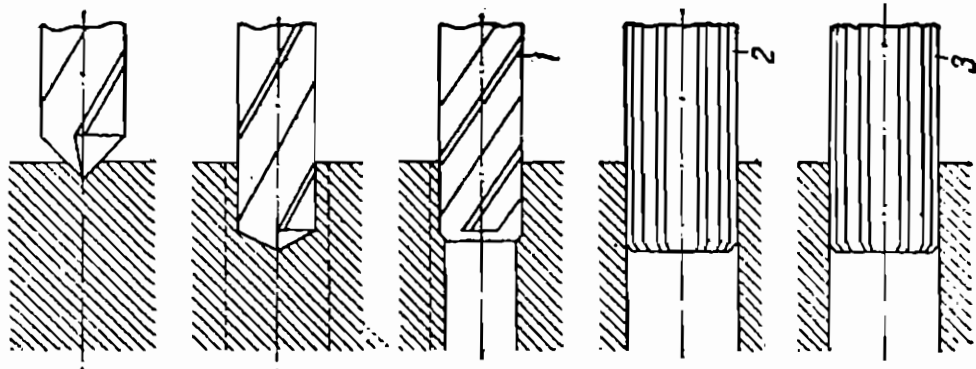
1 и 2-й методы позволяют выдерживать более точно положение оси, а методы 3 и 4-й — размеры и форму отверстия.

Если при работе по 3 и 4-му методам направление подачи непараллельно оси вращения, то отверстие получается эллиптическим.

1-й метод следует применять лишь при обработке коротких деталей. При отверстиях со значительным отношением длины к диаметру

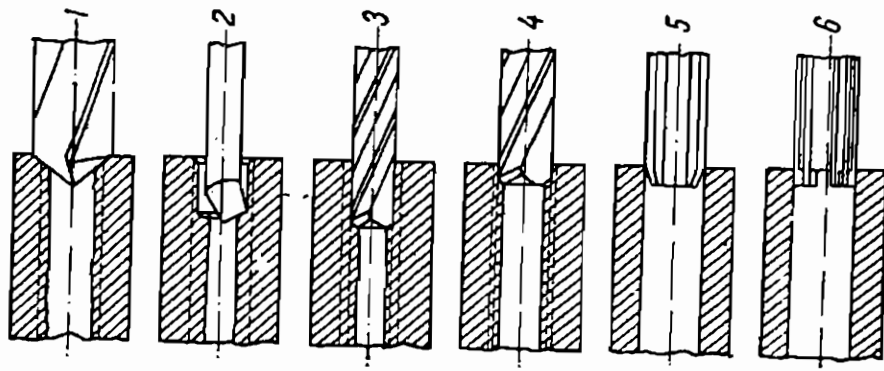
№ по порядку	Втулки изготовляются из	Последовательность обработки				Область применения
1	Втулки изготовляются из цетого материала	Сверление	—	—	—	Отверстия на проход без установленного допуска. Отверстия 5-го класса точности и грубее диаметром до 50 мм. Отверстия 4-го класса точности диаметром 12—30 мм, если не требуется чистоты поверхности
2		Сверление	Зенкерование	—	—	Отверстия 4-го класса точности диаметром 12—60 мм. Отверстия 5-го класса точности диаметром 12—60 мм (при значительной длине и необходимости хорошего направления и более чистой поверхности)
3		Сверление	—	—	Чистовое развертывание	Отверстия 4-го класса точности диаметром до 50 мм (если требуется чистая поверхность). Применяется также для отверстий 3-го класса точности диаметром до 30 мм (если не требуется особой чистоты поверхности преимущественно для индивидуального и мелкосерийного производства)
4	Втулки изготовляются из цетого материала	Сверление	Зенкерование	—	Чистовое развертывание	Отверстия 3-го класса точности диаметром 12—50 мм. Применяется также для отверстий Н8 и для 2-го класса точности (если по условиям производства нежелательно применение двух разверток)
5		Сверление	—	Черновое развертывание	Чистовое развертывание	Отверстия 2-го класса Н8 и 3-го класса диаметром до 12 мм. Применяется для тех же точностей и при диаметре 12—50 мм (при сравнительно небольшой длине отверстий, когда нет опасности увода сверла)
6	Втулки из	Сверление	Зенкерование	Черновое развертывание	Чистовое развертывание	Отверстия 2-го класса точности диаметром 12—60 мм. Применяется также для 3-го класса точности для отверстий диаметром 30—60 мм, имеющих значительную глубину (если требуется особая чистота поверхности)
7	Втулки из цетого материала	Сверление	Зенкерование	—	—	Отверстия 5-го класса точности и грубее. Отверстия 4-го класса точности при небольшой длине и если не требуется чистой поверхности

8	Втулки из топочных заготовок	Зенкование	—	Чистовое развратывание	Обычный метод для отверстий 3-го класса точности. Применяется для отверстий 4-го класса точности (при значительной длине и если требуется чистая поверхность)
9		Зенкование	Черновое развратывание	Чистовое развратывание	Обычный метод обработки отверстий 2-го класса точности и отверстий Н8. Применяется также для отверстий 3-го класса точности (особенно, если требуется высокая чистота поверхности)



Фиг. 289. Порядок обработки отверстий в целом материале.

1—зенкер, 2—развертка черновая, 3—развертка чистовая.



Фиг. 290. Порядок обработки отверстий в полых заготовках.

Примечание. Для создания правильного направления инструмента в начальный момент следует:

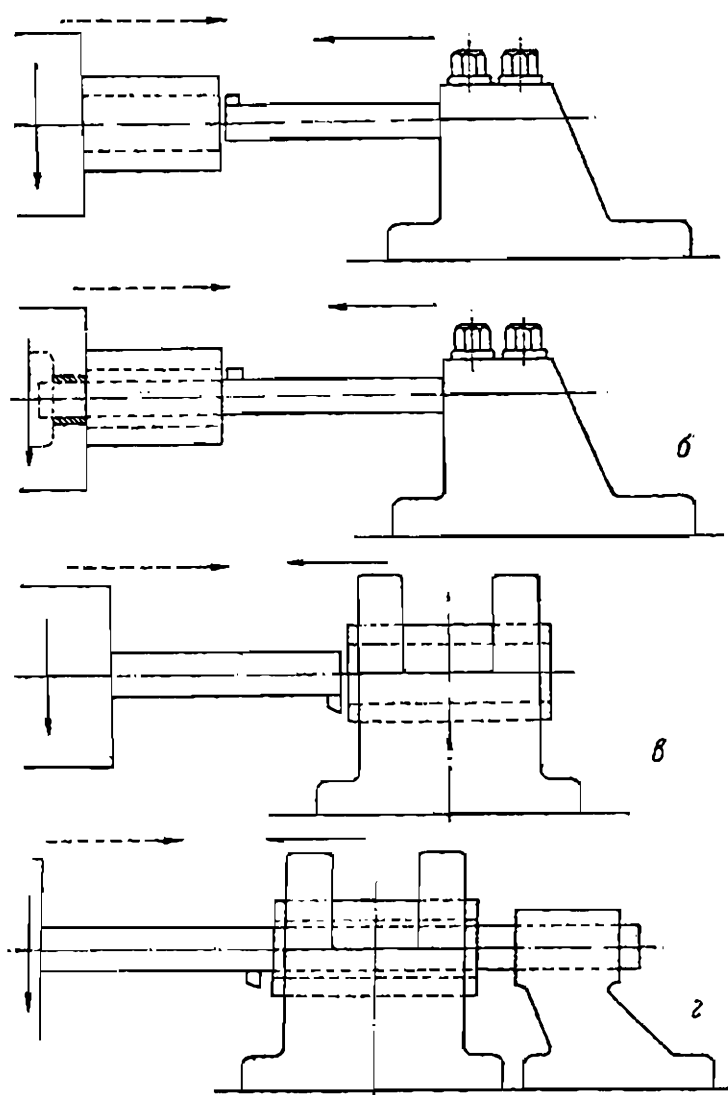
а) при обработке отверстий в целом материале предварительно зашлифовать углубление коротким жестким сверлом, имеющим угол при вершине меньше, чем угол при вершине у обычных сверл (фиг. 289);

б) при обработке отверстий у полых заготовок предварительно расточить на глубину примерно $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ диаметра зенкера (фиг. 290).

прогиб резца (борштанги) может недопустимо исказить размеры и форму отверстия, а также вызвать вибрации. Если направляющие станка прямолинейны, но перекошены по отношению к оси шпинделя, отверстие получится конусным. Неоднородность материала детали вызывает различную величину прогиба инструмента, а следовательно,

и искажения формы детали.

При 2-м методе борштанга имеет вторую опору, что позволяет обрабатывать более длинные отверстия и снимать большую стружку. Этот метод обеспечивает высокую степень точности обработки при следующих условиях: а) ось направляющей втулки совпадает с осью вращения; б) ось борштанги совпадает с осью вращения; в) подача резца параллельна оси вращения. В случае несоблюдения первого условия резец будет то приближаться к оси вращения, то удаляться от нее, что вызовет искажения отверстия в поперечном сечении. При несоблюдении условий «б» и «в» борштанга будет изгибаться, причем по мере передвижения супорта прогиб будет изменяться. Размеры и форма отверстия зависят от закона изгиба борштанги.



Фиг. 291. Схемы растачивания отверстий.

3-й метод следует применять, как и 1-й, при обработке коротких отверстий. Если направляющие станка перекошены по отношению к оси шпинделя, это не отразится на форме и размерах отверстия, но вызовет перекосяк оси отверстия относительно оси наружной цилиндрической поверхности.

4-й метод применяется, когда вследствие значительной длины детали в случае обработки отверстия по 3-му методу борштанга получилась недостаточно жесткой. Хотя при работе по 4-му методу приходится применять борштангу примерно вдвое длиннее, чем при работе по 3-му методу, прогиб, как это легко видеть из сопоставления соответствующих формул, получается почти в два раза меньшим.

При работе по 3-му методу прогиб

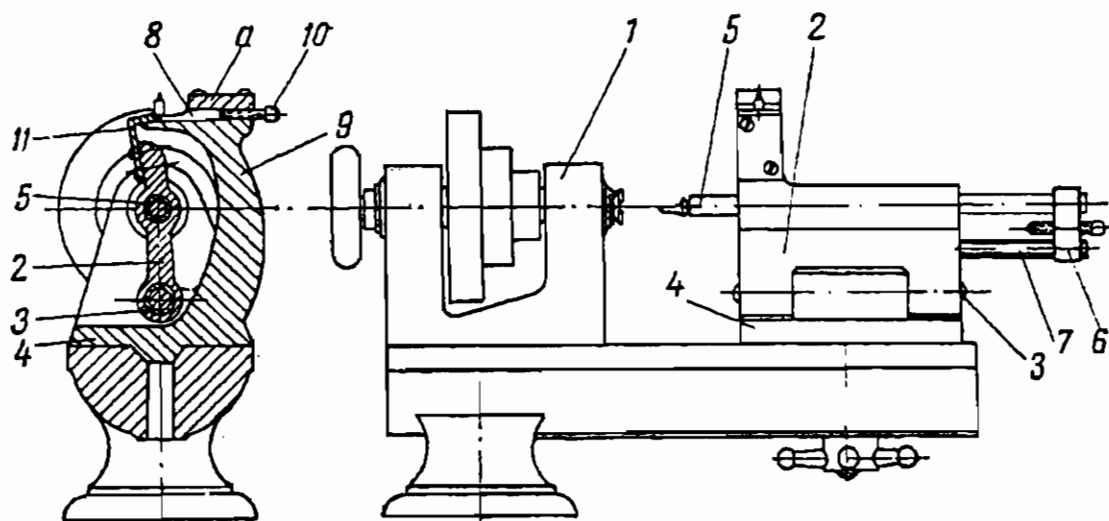
$$f_1 = \frac{Pl^3}{3EI}$$

При работе по 4-му методу

$$f_2 = \frac{P(2l)^3}{48EI} = \frac{P \cdot 8 \cdot l^3}{48EI} = \frac{Pl^3}{6EI}.$$

Более детальный анализ явлений, сопровождающих процесс расточки, а также прочие методы расточки¹ см. в книге А. П. Соколовского «Основы технологии машиностроения», ч. 1, 1938.

Растачивание по копиру в настоящее время применяется на часовых заводах. Сущность этого метода заключается в следующем. Вал изготавливается обычным способом, а втулка пригоняется к валу при помощи специального станка копировального



Фиг. 292. Схема станка для растачивания по копиру.

типа. Схема устройства подобного станка показана на фиг. 292. В неподвижной части 4 задней бабки может перемещаться при помощи винта 10 и закрепляться в нужном положении упор 8. Вокруг оси 3, неподвижно установленной в задней бабке, может поворачиваться часть 2, несущая шпиндель 5. В этом шпинделе закрепляется расточной резец. Шпиндель 5 удерживается от вращения хомутиком 6 и винтом 7. Втулка, предварительно расточенная, зажимается обычным путем в патроне передней бабки 1. Расстояние между осями 3 и 5 равно расстоянию между осью 5 и площадкой а.

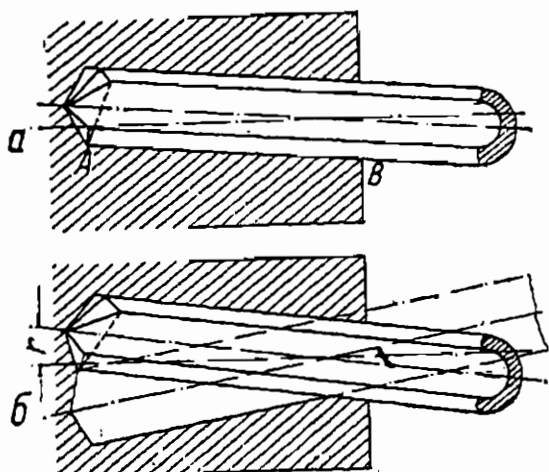
Принцип работы заключается в следующем. При посадке без зазора упор 8 выдвигают с таким расчетом, чтобы при упоре в скобку 11 вершина расточного резца совпала с осью вращения шпинделя передней бабки. Если требуется осуществить посадку с зазором, резец должен быть отклонен на величину, равную половине зазора. Если между упором 8 и скобкой 11 вставить изготовленный валик, то расточной резец отклонится влево на расстояние, равное половине диаметра валика плюс половина зазора, и расточит во втулке, закрепленной в шпинделе передней бабки, отверстие, равное диаметру валика плюс зазор.

¹ В настоящей книге мы сочли возможным ограничиться рассмотрением лишь четырех основных методов расточки, так как в точном приборостроении прочие методы применяются лишь в виде отдельных исключений.

При применении указанного метода величина зазора получится одинаковой во всех сопряжениях независимо от того, какого диаметра был тот или иной из валиков.

Метод растачивания по копиру позволяет получить посадки высокой точности, не требуя для своего осуществления высококвалифицированной рабочей силы. Заимствованный у американской часовой промышленности, этот метод может быть с успехом использован в различных отраслях точного приборостроения.

Сверлить отверстия можно двумя методами — на сверлильном станке и на станке токарного типа (револьверном или автомате).



Фиг. 293.

Выбор метода сверления имеет существенное значение при сверлении отверстий с большим отношением глубины к диаметру. Не касаясь особых, мало характерных для точного приборостроения методов сверления глубоких отверстий, отметим лишь принципиальную разницу между двумя указанными методами.

При первом методе вращается сверло, при втором — деталь. Условия работы аналогичны указанным

выше первому и третьему методам расточки отверстия.

При сверлении отверстий следует стремиться к тому, чтобы ось отверстия была прямолинейной и занимала правильное положение. Это объясняется тем, что неточности в размерах, получившиеся при сверлении, могут быть исправлены последующей обработкой отверстия зенкером и разверткой. Криволинейность же оси и неправильность ее положения можно лишь в небольшой степени устранить при помощи дальнейшей обработки.

При обработке на сверлильном станке соблюсти положение оси и ее прямолинейность значительно труднее, чем при обработке на токарном. Это объясняется следующими причинами. Если направление подачи совпадает с направлением оси сверла, но не совпадает с направлением оси детали, то при сверлении по первому методу получится отверстие требуемого диаметра, но ось его не будет совпадать с осью детали (фиг. 293, а). При тех же условиях в случае сверления отверстия по второму методу вершина резца опишет окружность радиуса r , вследствие чего отверстие окажется коническим (фиг. 293, б). Давление на обе кромки сверла, очевидно, неодинаково: внешняя кромка сверла нагружена больше, чем внутренняя. Вследствие этого радиальная составляющая давления резания, действующая на внешнюю кромку, будучи больше, чем радиальная составляющая, действующая на внутреннюю кромку, стремится отклонить сверло по направлению к оси вращения детали.

Рассмотрим теперь случай, когда подача производится параллельно оси детали, но ось сверла не совпадает с направлением подачи.

При обработке на сверлильном станке в начальный момент на детали образуется углубление, ось которого совпадает с осью детали. При дальнейшем движении сверла его направляющая часть прижмется к стенке отверстия (по линии AB , фиг. 293, a) и будет действовать как клин, заставляя вершину сверла постепенно отклоняться в сторону. В результате отверстие получается с кривой осью.

При обработке на токарном станке направляющие сверла будут действовать так же, но режущая часть будет образовывать коническое отверстие, ось которого будет совпадать с осью детали.

Приведенные рассуждения, заимствованные из книги проф. А. П. Соколовского, поясняют общеизвестное практическое правило, что для соблюдения прямолинейности и правильного положения оси отверстия сверлить лучше при вращении детали. Это легко осуществимо в точном приборостроении, так как в этой отрасли втулки в основном обрабатываются на револьверных станках и автоматах.

Особенно следует отметить метод сверления отверстий, при котором вращаются и сверло и деталь (в противоположные стороны). Этот метод применяется обычно при обработке на автомате, но его можно применить и на револьверном станке (при помощи специального устройства). Преимущества этого метода по сравнению с методом сверления при невращающемся сверле заключаются в том, что обе режущие кромки сверла находятся в одинаковых условиях и устраняется влияние какой-либо асимметрии в конструкции сверла. Существенное значение имеет также то обстоятельство, что при этом методе достигается высокая скорость резания при значительно меньшем числе оборотов детали, чем при невращающемся сверле.

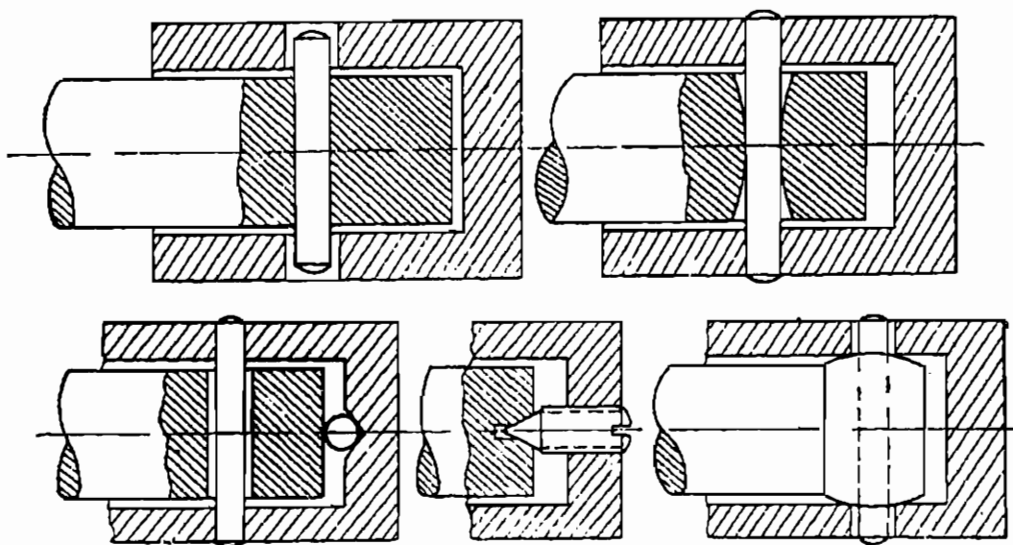
Развертывание является основным методом получения точных отверстий. Обеспечить высокую степень точности при развертывании можно лишь при условии, что ось развертки точно совпадает с осью развертываемого отверстия. Наивысшая степень точности достигается при развертывании вручную, когда развертка имеет возможность свободно устанавливаться по оси отверстия. Для получения особенно точных отверстий их развертывают сначала на станке, а затем вручную, снимая весьма незначительную стружку.

При развертывании отверстий на револьверных станках обеспечить точное совпадение осей отверстия и развертки в случае жесткого закрепления последней в револьверной головке не представляется возможным. Это объясняется тем, что при изготовлении станков, а в особенности в результате их износа, имеют место неизбежные погрешности в расположении осей отверстий револьверной головки по отношению к оси шпинделя. Получающееся вследствие этого несовпадение оси развертки с осью отверстия имеет следствием искажение размеров отверстия. Чтобы устранить этот недостаток, развертку обычно закрепляют в револьверной головке не жестко, а при помощи особых державок, позволяющих развертке самоустанавливаться по оси отверстия. Различных конструкций таких державок существует много; часть их показана на фиг. 294.

В ряде случаев вследствие причин, изложенных ниже, от развертывания приходится отказываться и заменять его другими методами.

обработки или вводить дополнительную обработку после развертывания. К числу указанных методов относятся: 1) тонкое растачивание, 2) внутреннее шлифование, 3) протягивание, 4) проталкивание стержней или шариков.

Тонкое растачивание применяют при обработке втулок из цветных металлов в тех случаях, когда: 1) требуется очень чистая поверхность, более чистая, чем можно добиться в результате развертывания или протягивания, 2) деталь имеет тонкие стенки или стенки неодинаковой толщины; в этом случае преимущества тонкого растачивания обуславливаются тем, что благодаря малому усилию резания деформации детали в процессе обработки незначительны. Одновременно можно уменьшить и деформации деталей при закреплении, так как малые усилия резания позволяют зажимать детали, применяя весьма небольшие усилия.



Фиг. 294. Качающиеся державки для разверток.

При обработке тонким растачиванием глухих отверстий исключается необходимость предварительного растачивания канавки у дна, так как резец может доходить на расстояние 0,1 мм до дна отверстия и даже ближе. Тонким растачиванием вполне возможно обрабатывать прерывистые отверстия.

Точность, достигаемая при тонком растачивании, весьма высока: допуск по диаметру составляет 0,01—0,005 мм, овальность не превосходит 0,003—0,005 мм.

Внутреннее шлифование применяется преимущественно при обработке: 1) закаленных деталей или изготовленных из особо твердых материалов, 2) отверстий с точностью выше 2-го класса, 3) отверстий большого диаметра, 4) отливок неравномерной твердости, 5) отверстий с конфигурацией, неудобной для развертывания — с окнами или пазами, а также отверстий очень коротких, глухих или в тонкостенных деталях. В других случаях шлифование отверстий нецелесообразно вследствие быстрого износа камня и трудности обеспечения необходимой точности и жесткости станка.

Наименьший диаметр отверстия, которое можно обработать шлифованием, зависит от наименьшего возможного диаметра круга.

ОСТ предусматривает круги диаметром до 5 мм, но в отдельных случаях можно изготовить круги значительно меньшего диаметра (до 2 мм включительно), имеющие форму пальца.

При массовом производстве втулок с диаметрами отверстий от 10 мм и выше можно использовать внутреннее бесцентровое шлифование. По данным, опубликованным в журнале «Machinery»¹, при бесцентровом шлифовании отверстий диаметром около 20 мм и длиной 23 мм производительность равнялась 160 деталям в час.

Протяжки в виде цилиндрических отверстий применяется преимущественно в случае, если:

1) деталь изготавливается из тех сортов цветных металлов, которые плохо поддаются развертыванию;

2) деталь имеет толстые стенки; при тонких стенках неравномерной толщины отверстие может получиться некруглым; это объясняется деформациями детали под действием сильного радиального давления, оказываемого зубьями протяжки; при тонких стенках равномерной толщины отверстие может получиться меньшего диаметра, чем диаметр уплотняющей части протяжки; это обстоятельство можно учесть заранее, введя при изготовлении протяжки соответствующую поправку, определяемую опытным путем;

3) деталь имеет конфигурацию, удобную для ее установки при протягивании; в частности, торцы, по которым детали прижимаются к опорной площадке станка, должны быть строго перпендикулярны оси отверстия, подготовленного к протягиванию; следует по возможности эти торцы обрабатывать в одну установку с отверстием;

4) детали изготавливаются из однородного материала; неоднородность материала может вызвать неодинаковые деформации детали, вследствие чего отверстие получится не круглым;

5) производство носит массовый или крупносерийный характер, так как протяжка представляет собою специальный и дорогостоящий инструмент.

Преимуществами протягивания являются: высокая производительность, возможность использования рабочих низкой квалификации, высокая степень точности (до 2-го класса) и гладкая, уплотненная поверхность.

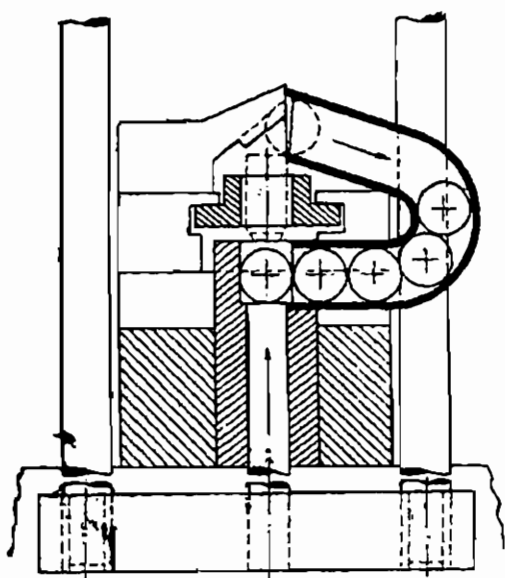
При построении технологического процесса необходимо учитывать, что протяжка следует за осью предварительно обработанного отверстия. Вследствие этого положение оси отверстия по отношению к другим поверхностям должно быть выдержано уже при подготовке отверстия к протягиванию. Если же предшествующая протягиванию обработка не обеспечивает надлежащего положения оси, то необходимо поверхности, связанные с отверстием, обрабатывать после протягивания, используя готовое отверстие как базу для установки.

Метод продавливания стальных стержней или шариков применяется при обработке деталей из цветных металлов. Обычно операция выполняется на прессе. На фиг. 295 показано приспособление, позволяющее выполнять операцию автоматически. Когда пуан-

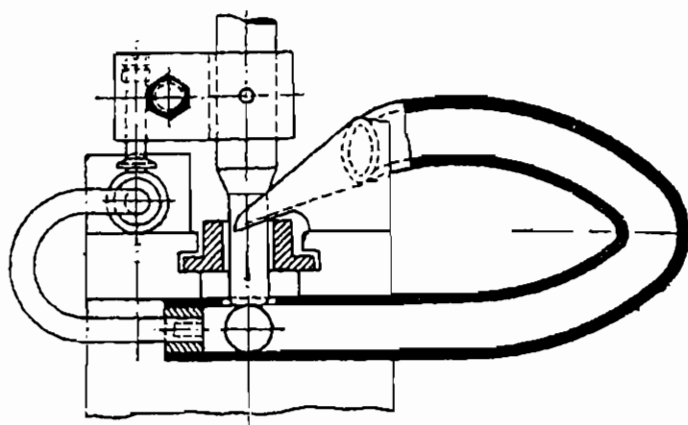
¹ N. Y., 1936, Dec.

сон занимает нижнее положение, один из шариков, находящихся в изогнутой трубе, подается под действием собственного веса на верхнюю плоскость пуансона. После продавливания шарик соприкасается с наклонной плоскостью и проталкивается снова в трубу (показано пунктиром).

Пуансон получает движение от ползуна прессы при помощи планки. Одним из преимуществ описанного устройства является то, что шарики изнашиваются равномерно. В устройстве, показанном на фиг. 296, шарики продавливаются при движении пуансона вниз. В исходное положение шарики подаются сжатым воздухом.



Фиг. 295. Отделка отверстий путем продавливания шариков.



Фиг. 296. Отделка отверстий путем продавливания шариков.

Достоинствами метода отделки поверхности продавливанием шарика являются гладкая, уплотненная поверхность стенок детали, точность размеров отверстия, долговечность инструмента (шарика). Диаметр шарика должен быть несколько больше, чем окончательный диаметр детали, потому что при продавливании шарика в детали возникают упругие деформации. Разность между диаметром шарика и диаметром отверстия определяется опытным путем. Отверстие, подлежащее отделке, должно быть предварительно точно обработано.

При неравномерной толщине стенок, недостаточно тщательной подготовке отверстия или наличии канавок ось отверстия легко искривляется, и отверстие приобретает неправильную форму.

Прочие из применяемых в машиностроении методов отделки отверстий: хонинг-процесс, притирка (lapping) и развальцовка — нами не рассматриваются, так как в точном приборостроении они применяются лишь в виде отдельных исключений¹.

¹ В будущем хонингование, несомненно, получит значительное распространение и в точном приборостроении. Для устранения взаимной притирки сопряженных цилиндрических деталей в оптико-механическом приборостроении автором совместно с проф. Я. М. Хаймовичем был предложен метод, основанный на отделке наружных цилиндрических поверхностей «супер-финишем», а отверстий — хонингованием. Фирма Гиле для отделки хонингованием мелких отверстий диаметром до 20 мм выпускает специальные станки.

Обработка конических отверстий и поднутренй

Пологое коническое отверстие можно обработать непосредственно из цилиндрического путем его развертывания. На фиг. 297 показан план обработки конического отверстия.

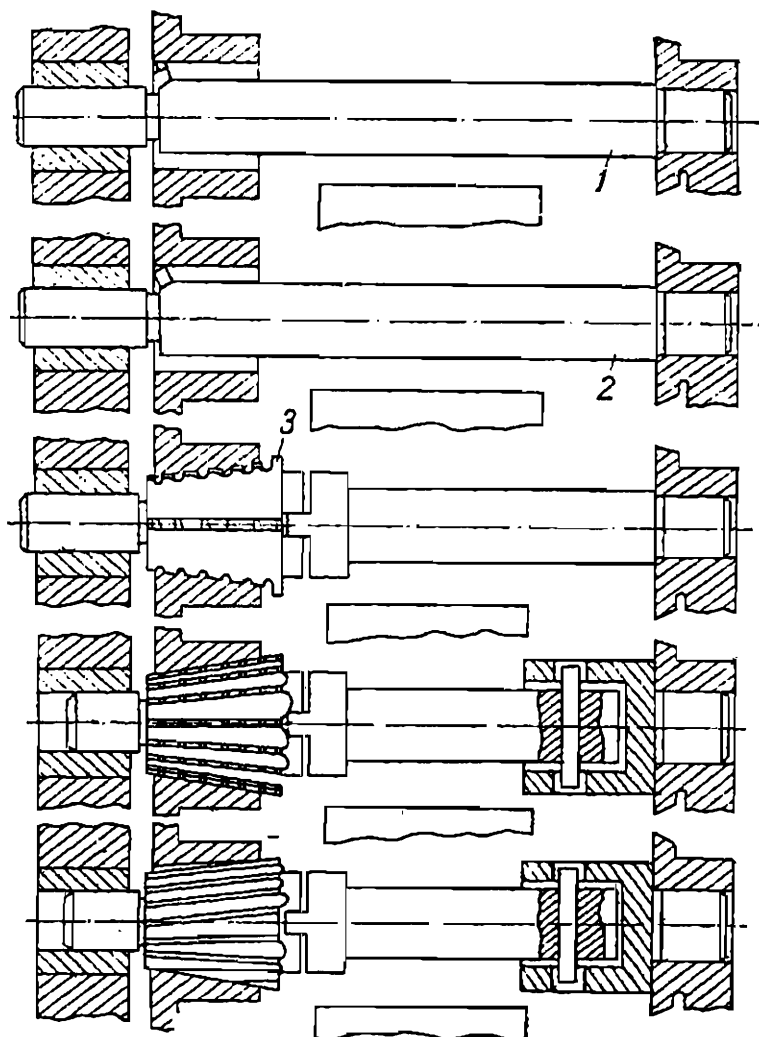
Крутые конические отверстия предварительно следует обработать несколькими сверлами различных диаметров или инструментом, аналогичным показанному на фиг. 298 (в точном приборостроении чаще применяются плоские ступенчатые сверла), так, чтобы отверстие стало ступенчатым. Для получения точного диаметра конического отверстия на коническую развертку надевают кольцо, упирающееся в торец детали.

Обрабатывать конические отверстия большого диаметра можно резцом теми же, по существу, способами, что и наружные конические поверхности.

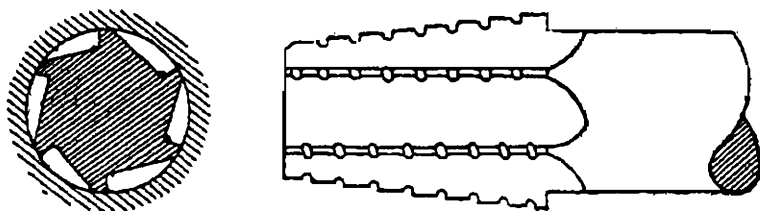
При изготовлении втулок часто приходится обрабатывать различные канавки и поднутрения (фиг. 299).

При обработке на станках, у которых супорт имеет поперечное перемещение, эта задача разрешается просто. В тех же случаях, когда необходимо обработать канавки на револьверном станке, у которого револьверная головка имеет лишь продольное перемещение, приходится прибегать к специальному державкам.

Одна из таких державок показана на фиг. 300. В державке имеется отверстие 1, в которое входит эксцентрично расположенный хвост головки, несущий резец 2, который точно устанавливается при помощи винта 3. При описываемой конструкции

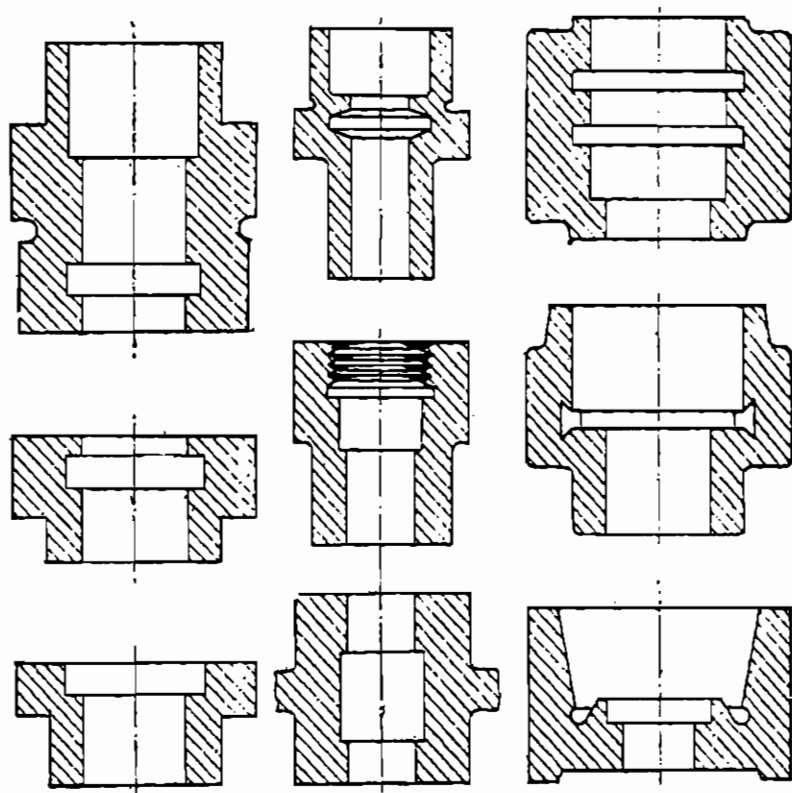


Фиг. 297. План обработки конического отверстия. 1—черновая борштанга, 2—чистовая борштанга, 3—черновая развертка.

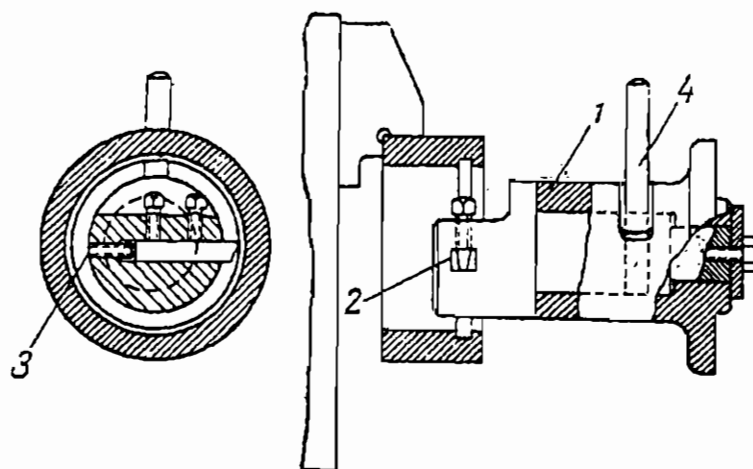


Фиг. 298.

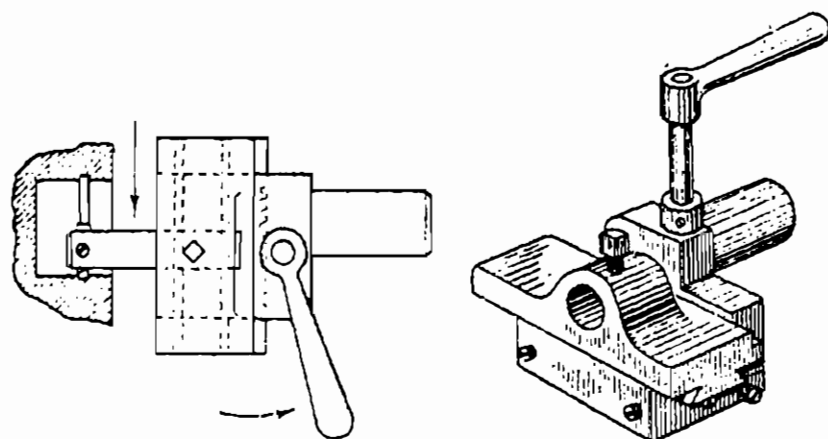
циальным державкам. Одна из таких державок показана на фиг. 300. В державке имеется отверстие 1, в которое входит эксцентрично расположенный хвост головки, несущий резец 2, который точно устанавливается при помощи винта 3. При описываемой конструкции



Фиг. 299.



Фиг. 300. Державка для расточки канавок.

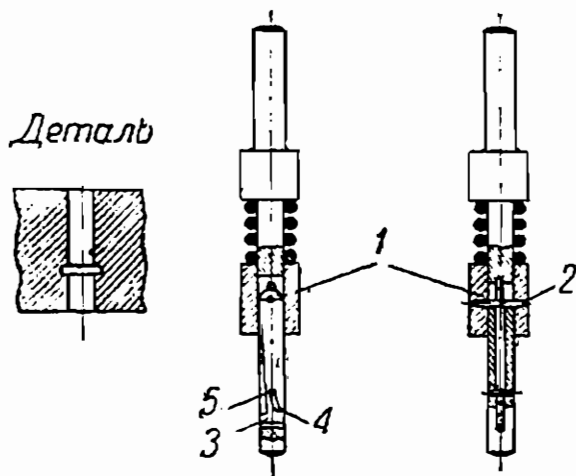


Фиг. 301. Державка для расточки канавок.

державки резец подается вручную при помощи рукоятки 4; подача ограничивается регулируемыми упорами.

На фиг. 301 показана другая конструкция державки, предназначенной для той же цели; здесь резец подается при помощи рукоятки, шестерни и рейки.

На фиг. 302 представлена державка для проточки канавок, применяемая на одном из заводов точного приборостроения. Направляющий стержень входит в отверстие до тех пор, пока втулка 1 упрется в торец детали. Эта втулка связана при помощи штифта 2 с резцом 3, выполненным в виде рычага. При дальнейшем нажиме резец 3 штифтом 5, скользящим в наклонной щели 4, выводится из своего нормального положения и вытачивает канавку на детали. После получения канавки надлежащей глубины державка поднимается вверх, причем резец возвращается в первоначальное положение плоской пружиной. Если нужно обработать канавки на различных расстояниях от торца детали, можно пользоваться сменными втулками или прокладывать кольца соответствующей толщины.



Фиг. 302. Державка для расточки канавок.

Примеры

На фиг. 303 представлен порядок обработки баксы теодолита. Деталь изготовляется из латуни. Заготовка представляет собою горячую штамповку (фиг. 303, а). Вначале на токарном станке торцы очищают от заусенцев. Следующая операция выполняется на револьверном станке. Деталь закрепляют в трехкулачковом патроне. Порядок переходов следующий (фиг. 303, б): 1) подрезать торец; 2) центровать; 3) сверлить отверстие $\varnothing 6$ мм; 4) обточить $\varnothing 25$ мм на длину 38 мм и подрезать торец; 5) обточить под резьбу; 6) проточить канавку; 7) обточить до размера 26 мм и снять фаску; 8) рассверлить выточку $\varnothing 13$ мм; 9) снять фаску; 10) снять заусенцы; 11) нарезать резьбу.

Затем деталь обрабатывают с другого конца на таком же револьверном станке (фиг. 303, в). Порядок переходов следующий: 1) подрезать торец до размера 32,5 мм; 2) рассверлить конус; 3) расточить конус; 4) проточить выточку на конусе; 5) обточить $\varnothing 38$ мм; 6) обточить $\varnothing 30,6$ мм; 7) обточить $\varnothing 27$ мм под резьбу; 8) проточить канавку; 9) развернуть конус; 10) снять фаску и заусенцы; 11) нарезать резьбу. Дальнейшая обработка заключается в сверлении отверстия $\varnothing 3$ мм (фиг. 303, г) и снятии заусенцев.

Мелкие втулки, как указано выше, в большинстве случаев изготовляются из пруткового материала на револьверных и токарных станках. На фиг. 304 приведен пример обработки втулки на автомате, где удачно использованы основные принципы построения высокопроизводительных операций. Порядок переходов такой: 1) подача материала до упора; 2) сверление первой детали ступенчатым сверлом и обтачивание по фасону второй детали; 3) отрезка первой детали и окончательное обтачивание по фасону второй детали; 4) сверление второй детали и предварительное обтачивание по фасону первой детали для следующей

подачи прутка; 5) отрезка второй детали и окончательное обтачивание по фазону первой детали для следующей подачи прутка.

Кроме высокой производительности, такое построение операции имеет следующие преимущества: а) для двух деталей станок включается один раз, вследствие чего вдвое дольше служат важнейшие патроны; б) длина второй детали не зависит от точности подачи прутка, благодаря чему при недостаточной точности подачи ошибки скажутся лишь на первой детали.

Г. Обработка дисков

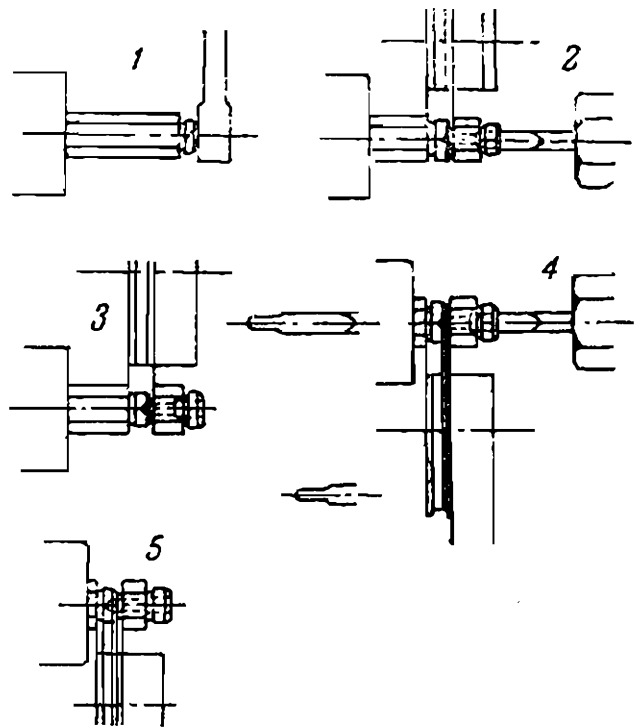
Как уже говорилось, детали, относимые к классу дисков, отличаются от втулок тем, что у них диаметральные размеры больше продольных. Основная технологическая задача для дисков та же, что и для втулок.

На револьверных станках или автоматах обрабатывают диски из пруткового материала небольших диаметров. В большинстве случаев заготовки получают путем штампования или литья.

В связи с общностью основных технологических задач у втулок и у дисков, мы считаем возможным не разбирать детально вопрос об обработке дисков, ограничившись лишь рассмотрением некоторых особенностей.

Обработка дисков из пруткового материала

Весьма поучителен метод обработки дисков малого диаметра из пруткового материала, примененный стахановкой за-



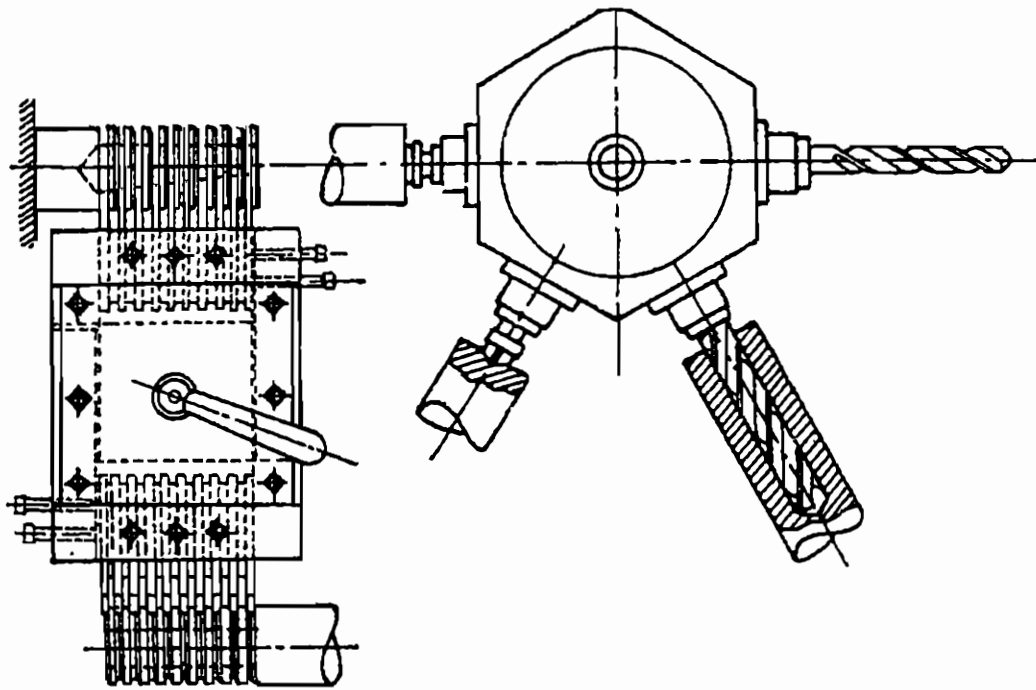
Фиг. 304. План обработки втулки на автомате.



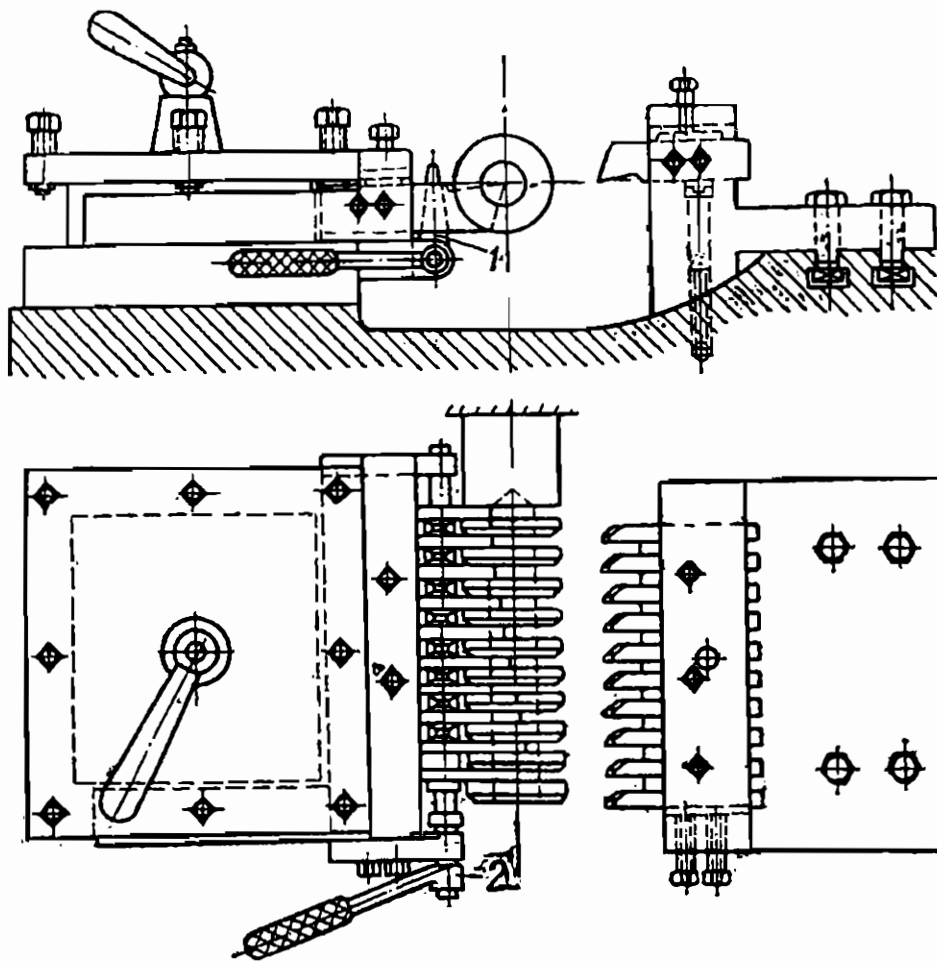
Фиг. 305.

воду им. С. Орджоникидзе т. Володиной. Для изготовления шайб с наружным диаметром 34 мм, диаметром отверстия 17 мм и толщиной 3 мм из калиброванной прутковой стали (фиг. 305) на револьверном станке первоначально был установлен следующий порядок переходов:

- 1) выдвигание до упора;
- 2) центрование; 3) сверление отверстия $\varnothing 17$ мм; 4) подрезка одной фаски $0,75 \times 45^\circ$; 5) отрезка одной шайбы.

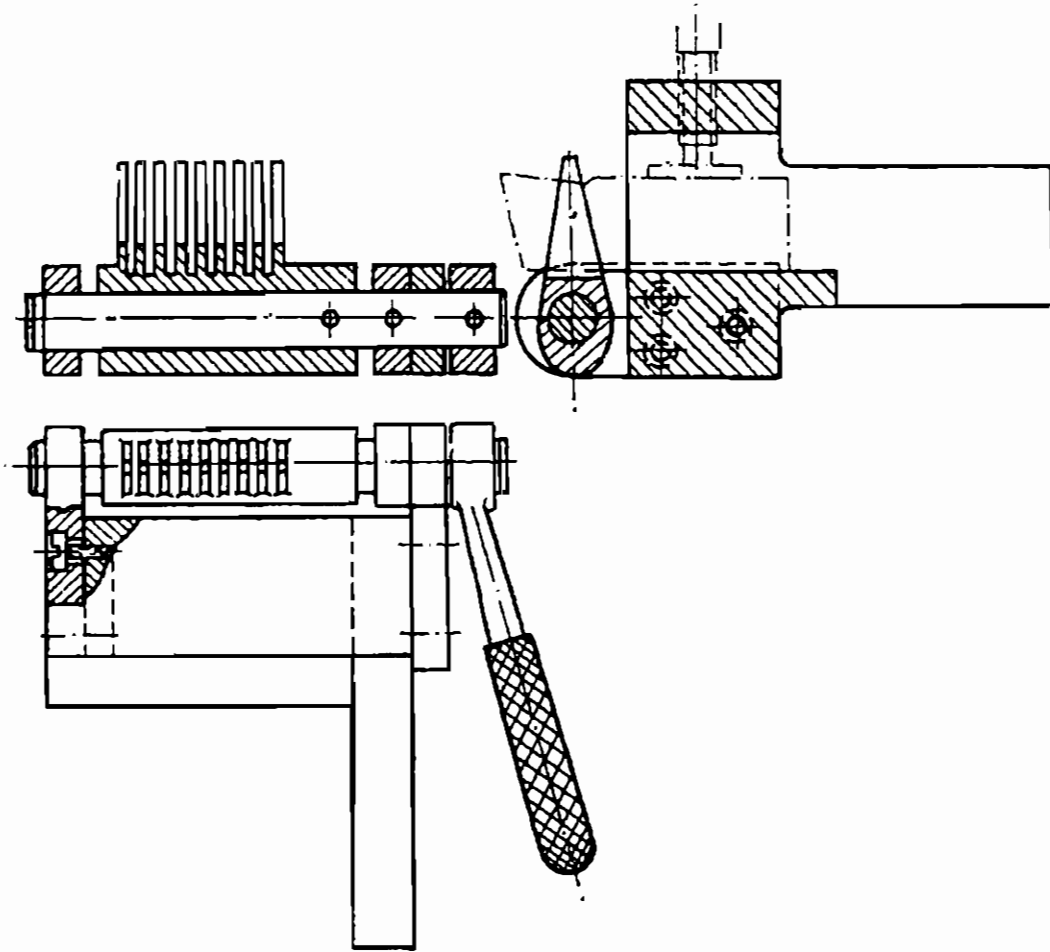


Фиг. 306. План обработки шайб по методу стахановки Володиной.



Фиг. 307.

Тов. Володина предложила перестроить операцию, что позволило увеличить производительность на 1145%. Это было достигнуто путем установления нового технологического процесса, состоящего из следующих переходов (фиг. 306): 1) выдвигание прутка до упора; 2) центрование; 3) сверление отверстия на длину 60 мм; 4) подрезка десяти фасок $0,75 \times 45^\circ$ одновременно; 5) отрезка 10 шайб толщиной 3 мм каждая одновременно.



Фиг. 308.

Для 4 и 5-го переходов были изготовлены специальные резцедержки (фиг. 307—308). Резцедержка для отрезных резцов снабжена специальной гребенкой 1, имеющей форму полого цилиндра с девятью клиновидными зубьями, расположенными между резцами. Эта гребенка предназначена для очистки от стружки промежутков между резцами и отрезанными шайбами. На фиг. 307 показано положение гребенки 1 и ее рукоятки 2 во время процесса отрезки; после отрезки производится очистка, для чего рукоятка поворачивается вверх.

Обработка дисков большого диаметра

Диски большого диаметра обрабатываются из заготовок, полученных путем штампования или литья.

В качестве примера рассмотрим показанный на фиг. 309 порядок обработки алидады горизонтального круга теодолита. Заготовка получается путем горячей штамповки.

Первая операция (фиг. 309,а) выполняется на револьверном станке. Деталь прижимается к ребрам, для того чтобы обеспечить надлежащее положение по отношению к ним торцевых плоскостей после их обработки.

Порядок переходов установлен следующий: 1) сверлить отверстие $\varnothing 19,5$ мм; 2) подрезать торец с внутренней стороны, выдержав размер от ребер 3,5 мм; 3) подрезать правый торец, выдержав размер 11 мм; 4) снять фаску 0,5 мм; 5) подрезать торец по большому диаметру, выдержав размер 3 мм; 6) расточить отверстие $\varnothing 19,8$ мм.

Вторая операция (фиг. 309,б) также выполняется на револьверном станке. Деталь центрируется по отверстию и зажимается по торцам, обработанным в первую операцию. Операция состоит из следующих переходов: 1) проточить $\varnothing 127$ мм; 2) проточить $\varnothing 28$ мм на глубину 3 мм; 3) снять фаски; 4) проточить плоскость, выдержав размер 3 мм; 5) подрезать торец бобышек; 6) проточить $\varnothing 94$ мм; 7) проточить $\varnothing 111$ мм; 8) проточить под углом 150° ; 9) снять заусенцы.

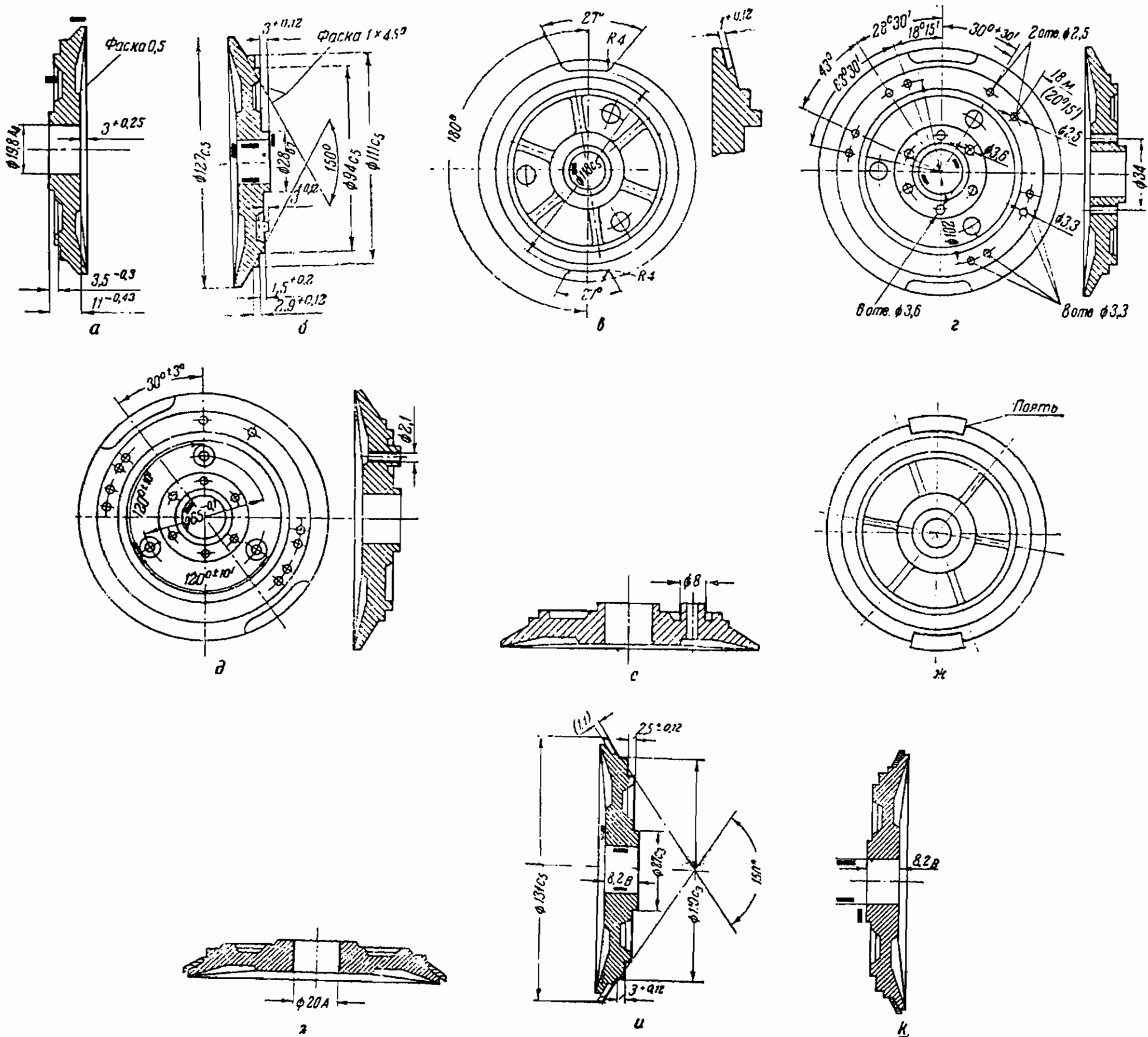
Третья операция (фиг. 309,в) заключается в фрезеровании мест для пластинок, затем снимаются заусенцы (операция 4), сверление (операции 5 и 6, фиг. 309,г и д), фрезерование трех бобышек (операция 7, фиг. 309,е), снятие заусенцев с бобышек и отверстий (операция 8), нарезание резьбы (операции 9—10—11), зенкование отверстий (операция 12). После этого припаиваются пластинки (операция 14, фиг. 309,ж) и выполняется окончательная обработка.

Прежде всего развертывается вручную отверстие (операция 15, фиг. 309,з) по $\varnothing 20$ А. Далее деталь устанавливается на токарный станок и подвергается операции 16 (фиг. 309,и), состоящей из следующих переходов: 1) подрезать торец под размер 8,2 мм; 2) обточить $\varnothing 27$ мм; 3) обточить $\varnothing 110$ мм и конус под 150° ; 4) подрезать торец, выдержав размер 3; 5) обточить $\varnothing 131$ мм; 6) снять заусенцы. Окончательная подрезка торца (фиг. 309,к) выполняется также на токарном станке (операция 17). Следующие операции предназначены для нанесения делений на пластинках (более подробно о нанесении делений см. ниже).

З а к р е п л е н и е т о н к и х д и с к о в

Закрепление тонких дисков на станке является обычно одной из наиболее трудно разрешимых задач. Чтобы избежать деформаций и напряжений детали под действием зажимного усилия, приходится прибегать к особым способам, отличным от рассмотренных выше.

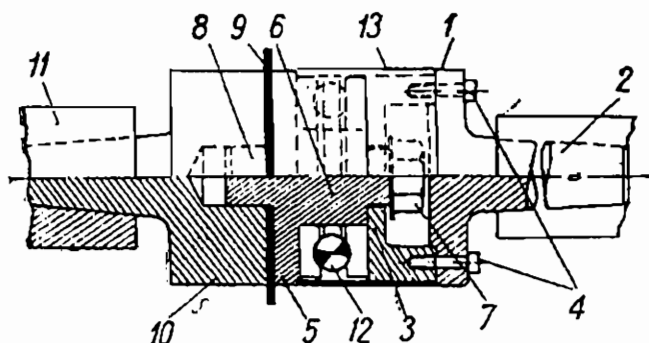
На фиг. 310 изображено зажимное приспособление для обточки внешней поверхности колец, отлитых под давлением, имеющих наружный диаметр $2\frac{1}{2}$ " , толщину в $\frac{1}{16}$ " и диаметр отверстия $\frac{5}{8}$ ". Приспособление состоит из фланца 1, конический хвост которого 2 вставляется в отверстие шпинделя задней бабки токарного станка. Кольцо 3 тарельчатой формы при помощи четырех зажимных винтов 4 привинчивается к поверхности фланца 1. В осевое отверстие кольца 3 вставляется втулка 5, имеющая



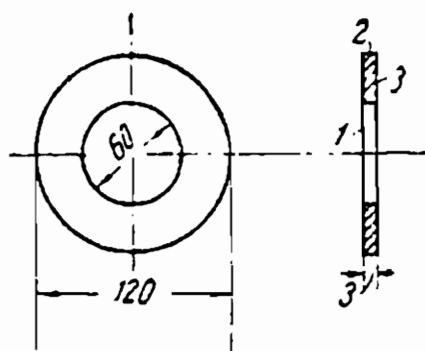
Фиг. 309. Порядок обработки алидады горизонтального круга теодолита.

заплечик 6. Втулка устанавливается при помощи гайки 7 и шайбы. На передний конец втулки 5, представляющий собой цапфу 8, насаживается обрабатываемое изделие 9. Для облегчения насаживания изделия на цапфу 8 на ней имеется скос. Цапфа 8 вставляется в осевое отверстие детали 10, конический хвостовик которой вставляется в коническое отверстие шпинделя 11 передней бабки станка.

Шпиндель 11 приводит во вращение обрабатываемое изделие 9, зажатое между втулкой 5 и деталью 10. Втулка может вращаться независимо от шпинделя задней бабки; она смонтирована на упорных шарикоподшипниках 12, воспринимающих осевые усилия. Шарикоподшипники предохранены от попадания грязи защитным кожухом 13, изготовленным из стальной трубы. По окончании обработки задняя бабка отводится, благодаря чему втулка 5, а вместе с ней и изделие, отходят от детали 10.



Фиг. 310. Приспособление для зажима тонких дисков.



Фиг. 311.

Особенные затруднения возникают в тех случаях, когда требуется весьма точно выдержать взаимное расположение торцевых и цилиндрических поверхностей. Один из таких случаев показан на фиг. 311. Чтобы обеспечить требуемые concentricity отверстия 1 с наружной поверхностью 2 и перпендикулярность к их оси торца 3, необходимо все эти поверхности обработать в одной установке. Долгое время в точном приборостроении эту задачу разрешали, наклеивая деталь на точную планшайбу воском или канифолью. Разумеется, этот метод является кустарным и не подходит для работы в условиях серийного производства.

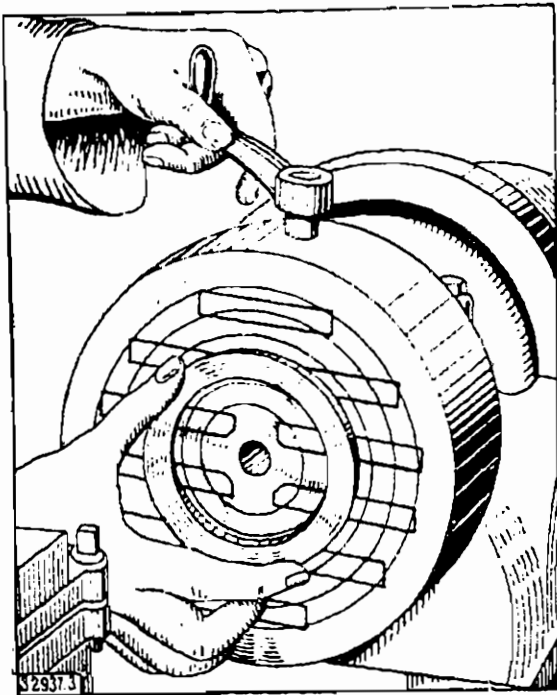
Для закрепления стальных деталей можно применить патроны и планшайбы электромагнитные или с постоянными магнитами (фиг. 312).

При часто встречающихся в точном приборостроении деталях из немагнитных материалов (бронзы, латуни, алюминия, фибры и т.п.) в условиях крупносерийных и массовых производств можно с успехом использовать вакуумные патроны, в которых обрабатываемые детали удерживаются давлением атмосферного воздуха.

У этих патронов имеются особые камеры, в которых создается вакуум путем отсоса вакуумными насосами заключенного в них воздуха.

Вследствие этого давление атмосферного воздуха воздействует на переднюю часть обрабатываемой детали, задняя часть которой об-

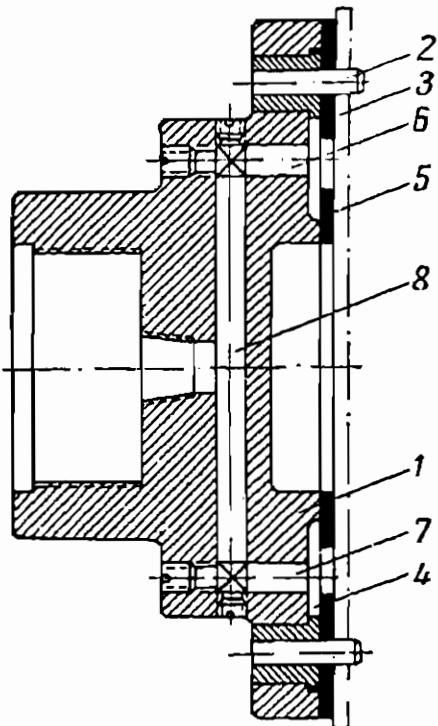
ращена к вакуумной камере. Сила, с которой давление атмосферного воздуха удерживает деталь, зависит от величины поверхности детали, воспринимающей это давление, и от степени разрежения в вакуумной камере. При абсолютном вакууме (теоретический случай) обрабатываемая деталь удерживается с силой 1 кг на 1 см^2 поверхности (давление атмосферы). После закрепления детали и во время ее обработки вакуумнасос должен только поддерживать достигнутый вакуум, и работа его на некоторое время может быть прекращена.



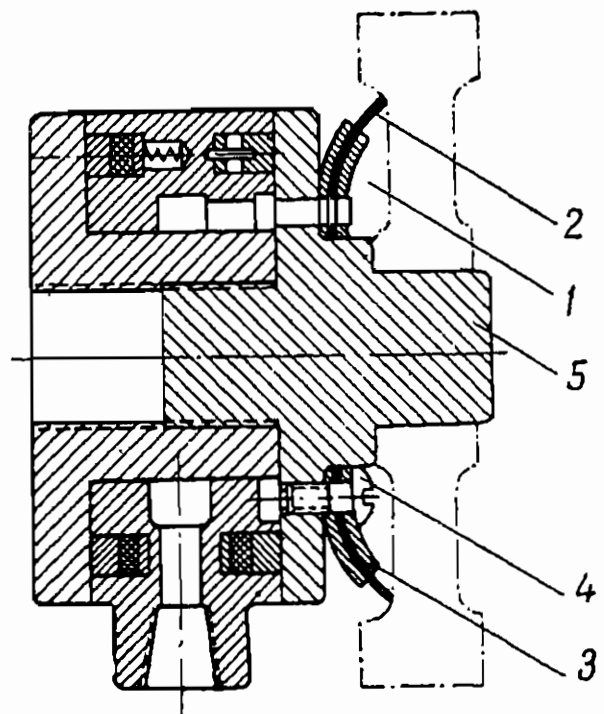
Фиг. 312. Планшайба с магнитами.

Для освобождения детали достаточно лишь переключить вакуумную камеру патрона для доступа в нее воздуха. При закреплении детали вакуумную камеру патрона соединяют с вакуумнасосом, при откреплении же, наоборот, разобщают с вакуумнасосом, открывая этим свободный доступ атмосферному воздуху. Переключается вакуумнасос очень легко и быстро с помощью удобоуправляемого клапана, включенного в вакуумный трубопровод. Вакуумнасос может

быть групповым с одной общей магистралью, обслуживающей несколько станков, или же индивидуальным.



Фиг. 313. Вакуумные патроны для закрепления тонких дисков.



Фиг. 314. Вакуумные патроны для закрепления тонких дисков.

На фиг. 313 показан вакуумный патрон для закрепления тонких дисков. Обрабатываемые детали центрируются штифтами 2 и упирают-

ся в резиновую прокладку 5 толщиной 0,5 см. Из камеры 4 воздух отсасывается через отверстие шпинделя и два канала 6 и 7. Диаметральный канал 8 и другие отверстия закрыты пробками для предотвращения доступа через них воздуха.

Другой патрон показан на фиг. 314. Здесь вакуумная камера 1 образуется обрабатываемой деталью и резиновой прокладкой 2, вставленной в стальной пластинчатый сегмент 3, прикрепленный винтами 4 к оправке 5¹.

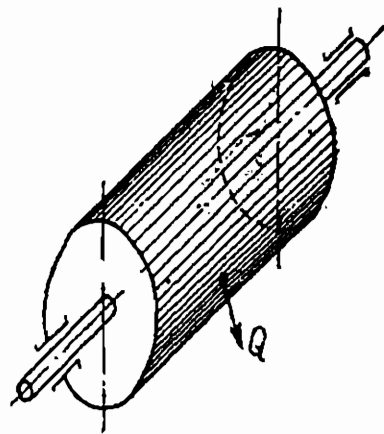
Д. Балансировка вращающихся деталей

В точном приборостроении имеется ряд быстровращающихся деталей типа осей, втулок, дисков и т. д. (например, роторы моторов и гироскопов, диски счетно-решающих машин и т. д.). Если вследствие неточности обработки, неоднородности материала и других причин такая деталь не сбалансирована, то при ее вращении на опоры (подшипники, подпятники и т. д.) действуют силы и моменты, переменные по величине и направлению, вызывающие ряд нежелательных явлений, как-то: тряску всего прибора, быстрое изнашивание опор, колебание указывающей стрелки прибора, а иногда и нарушающие правильность работы всего механизма. Кроме того, в контрольно-измерительных приборах несбалансированность звеньев механизма вызывает ошибки в показаниях прибора. Так, например, эксцентриситет коромысла весов заставляет вводить поправку в их показания или должен быть учтен при их тарировке (нанесении шкалы). Однако эксцентриситет звеньев может быть учтен только в стационарных приборах, которые можно установить в строго определенном относительно горизонта положении и корпус которых не испытывает никакой тряски или ускорений. А в тех механизмах, где прибор передвигается с ускорениями и наклоняется то в ту, то в другую сторону, малейшая несбалансированность может вызвать значительные ошибки в показаниях. Например, несбалансированность стрелки или рамки судового амперметра при наклонах судна или при ускорениях (особенно велики нормальные ускорения при повороте судна) вызовет значительные ошибки показаний прибора.

Неуравновешенность может быть статической или динамической.

Статическая неуравновешенность появляется тогда, когда неуравновешенные массы данного тела приводятся к одной так называемой приведенной массе и к одной центробежной силе, вызываемой данной массой при вращении тела (фиг. 315). Приведенная центробежная сила

$$Q = m r \omega^2,$$



Фиг. 315.

¹ О конструкции других типов вакуумных патронов см. инж. Перьянко, Вакуумпатроны, журн. «Станки и инструменты», 1938, № 12.

где m — приведенная неуравновешенная масса;
 ρ — расстояние от оси вращения до центра тяжести массы;
 ω — угловая скорость вращения данного тела.

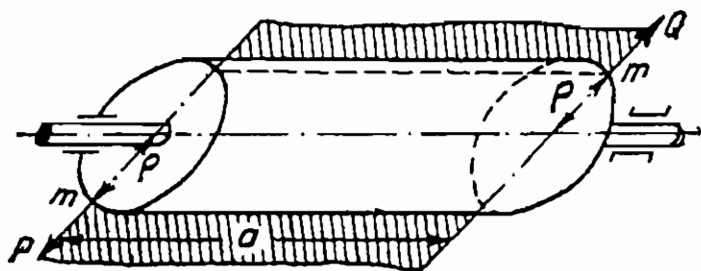
Динамическая неуравновешенность имеет место тогда, когда вследствие наличия неуравновешенных масс в теле получаются две равные приведенные центробежные силы, прямо противоположные и лежащие в одной осевой плоскости (фиг. 316).

[Эти центробежные силы создают момент

$$M = m\rho\omega^2 a,$$

где a — расстояние между силами.

Эта неуравновешенность называется динамической, так как она сказывается только при вращении тела. Общий случай неуравнове-



Фиг. 316.

шенности имеет место тогда, когда вследствие неуравновешенных масс в теле получается приведенная пара центробежных сил и приведенная центробежная сила.

В современных приборах встречаются детали, вращающиеся с очень большим числом оборотов. Так как нор-

мальные ускорения растут прямо пропорционально квадрату угловой скорости, а направления сил и моментов, вызываемых неуравновешенностью тела, меняют свое направление относительно опор с угловой скоростью, с которой вращается деталь, то малейшая статическая или динамическая неуравновешенность вызывает изнашивание и раскачивание опор.

Неуравновешенность деталей механизма или чувствительного элемента контрольно-измерительных приборов вызывает, как мы видели, ошибки положения и динамические ошибки прибора (ошибки от вибрации и ускорения точки подвеса). Все это вызывало необходимость введения в соответствующие технологические процессы специальной операции — балансировки деталей механизма приборов.

Статическая балансировка является одним из распространенных методов в точном приборостроении: она применяется во всех случаях, когда балансируемая деталь совершает в работе плоское движение и вращается с незначительной угловой скоростью, но несбалансированность ее может вызвать ошибки в показаниях прибора. Статической балансировкой пользуются также для уравнивания быстровращающихся тонких дисков и других деталей малой толщины.

Балансировка на статических машинах сводится к определению смещения центра тяжести относительно оси вращения, т. е. к определению маятниковости детали. Для этого достаточно подвесить деталь без трения на оси вращения, расположенной строго горизонтально; тогда центр тяжести расположится точно по вертикали относительно точки подвеса. Таким образом конструкция машины

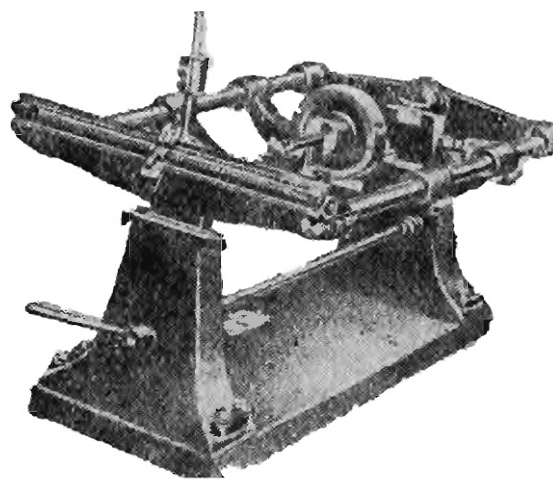
должна: 1) обеспечить минимальное трение в точке подвеса, 2) дать возможность установить ось вращения строго горизонтально и 3) позволить точно отсчитать вертикаль, т. е. направление эксцентриситета.

Найдя направление, а в некоторых случаях — и величину эксцентриситета, удаляют лишний или добавляют с противоположной стороны новый материал (обычно высверливанием или напайванием), до тех пор пока подвешенное тело не будет в пределах точности машины обладать безразличным равновесием, т. е. останется неподвижным, как бы оно ни было повернуто вокруг оси подвеса.

Наиболее старой и еще в настоящее время широко распространенной является балансировка на ножах. Балансируемая деталь опирается своими цапфами на два параллельно расположенных ножа треугольного сечения. Все точки опорной поверхности (острия лезвий) ножей лежат в одной горизонтальной плоскости. Эксцентриситет лежит в диаметральной плоскости, проходящей через точки касания цапф с ножами и оси вращения цапф.

При окончательной точной балансировке очень легкой детали перед высверливанием материала следует слегка отклонить деталь от намеченного направления сперва в одну, а затем в другую сторону. Эксцентриситет можно считать расположенным на равноделящей угол между направлениями двух этих отсчетов.

Для уменьшения трения перед определением направления эксцентриситета следует слегка постучать по раме балансировочной машины. Широко применяются также антифрикционные ролики. Работа их основана на том, что в месте соприкосновения трение скольжения заменено трением качения. Влияние же трения скольжения в опорах роликов на точность балансировки по возможности снижено путем уменьшения диаметра опоры (т. е. плеча трения) по сравнению с диаметром ролика, а также уменьшением трения в опорах путем применения подшипников качения.



Фиг. 317.

На фиг. 317 дана балансировочная машина Лозенхаузена типа Б, применяемая для балансировки деталей весом более 100 г.

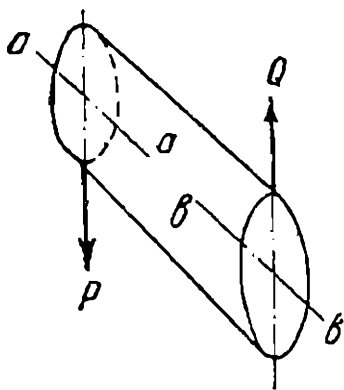
Рама расположена на стальных закаленных шлифованных ножах. Станина машины устанавливается строго горизонтально по круглому уровню. По направляющим рамы параллельно оси ее качения передвигаются поперечины с опорами для оси вращения балансируемой детали. Вдоль одной из траверс рамы перемещается груз, положение которого может быть отмечено на шкале. Повертывая балансируемую деталь в разные положения и возвращая траверсу перестановкой груза в горизонтальное положение, можно по положению груза определить направление и величину эксцентриситета.

Балансировка стрелок должна производиться после того, как светящаяся масса, которой покрывается ее конец, выдохнет, так как масса при высыхании теряет в весе.

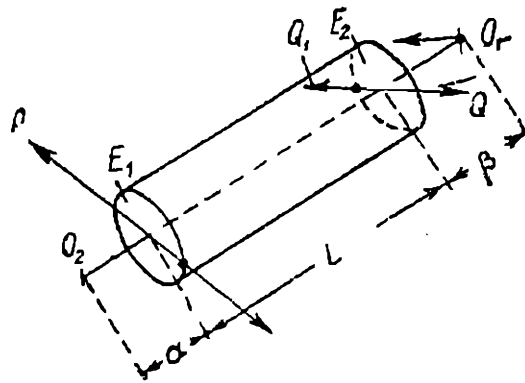
Сущность динамической балансировки заключается в следующем.

Нормальные ускорения точек при вращении тела лежат в плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Вследствие этого вызываемые ими усилия при наличии динамической неуравновешенности могут быть заменены или уравновешены двумя силами, расположенными в двух произвольных, несовпадающих, нормальных к оси вращения плоскостях (фиг. 318). Чем дальше расположены плоскости, тем меньше будут эти силы.

Если теперь поместить вращающееся тело на раму, могущую поворачиваться вокруг оси, лежащей в плоскости $a-a$, определить величину и направление силы Q , лежащей в плоскости $b-b$, по вызываемому ею раскачиванию рамы, и уничтожить ее, удаляя или



Фиг. 318.



Фиг. 319.

прибавляя материал в этой плоскости, то останется только одна сила от неуравновешенности в плоскости $a-a$. Поместив теперь тело так, что ось поворота будет в плоскости $b-b$, можно таким же образом определить и уравновесить силу P . После этого тело будет полностью уравновешено.

В случае, если, ввиду очень малой ширины тела или по другим техническим причинам, нельзя совместить боковые поверхности вращающегося тела с осью качания рамы, то прибегают к методу последовательного приближения.

Выберем оси качания рамы в точках O_1 и O_2 (фиг. 319) возможно ближе к боковым поверхностям балансируемого тела. Поместив ось качания в плоскости, пересекающейся с осью вращения тела в точке O_1 , определяют силу P_1 в плоскости E_1 . Однако это не будет той силой P , которую мы должны приложить к плоскости E_1 для балансировки тела, если вторая сила, например Q , будет помещена в плоскости E_2 . Найденная сила P_1 дает относительно O_1 момент, равный геометрической сумме моментов сил P и Q ; следовательно,

$$\bar{P}_1 = \frac{\bar{P}(L + \beta) + Q\beta}{L + \beta}.$$

Уравновесив силу P_1 (напаяв для этого в плоскости E_1 металл или прилепив специальную мастику), помещают ось качания рамы

в точке O_2 . Тогда в плоскости E_2 может быть найдена и уравновешена сила Q_I , равная

$$\bar{Q}_I = \frac{\bar{Q}(L + \alpha) + (\bar{P}_I - P)\alpha}{L + \alpha}$$

и отличающаяся от истинного значения уравновешивающей разбалансировки силы Q меньше, чем P_I отличается от P .

Дальше, помещая центр качания рамы вновь в точку O_1 , находим и уравновешиваем в плоскости E_1 новую силу

$$P_{II} = \frac{\bar{P}(L + \beta) + (\bar{Q}_I - Q)\beta}{L + \beta},$$

меньше отличающуюся от P , чем P_I .

Далее, повторяя этот прием, можно методом последовательного приближения найти силы P_n и Q_n , сколь угодно близкие к P и Q .

Метод этот называется методом трех масс. Другой метод, называемый методом четырех масс, заключается в том, что, определив силу P , не уравновешивают ее, а перенеся ось качания рамы в точку O_2 , определяют силу Q'_I :

$$Q'_I = \frac{\bar{Q}(L + \alpha) + \bar{P}\alpha}{L + \alpha}.$$

Затем, поместив на место оба груза (создающий силу P_I и создающий силу Q'_I), повторяют операцию. В некоторых случаях не удастся измерить силу P и следующие силы в плоскостях, где они уравновешиваются; тогда определяют их из равенства моментов. Например, определив силу P'_I , в точке O_2 находят силу P_I , действующую в плоскости E_1 :

$$P_I = P'_I \frac{L + \alpha + \beta}{L + \beta}.$$

2. ДЕТАЛИ, ПРОИЗВОДНЫЕ ОТ КЛАССОВ ОСЕЙ И ВТУЛОК

А. Лимбы

Лимбами называются детали, представляющие собою втулки или диски с нанесенными на них круговыми шкалами. Основными элементами круговой шкалы являются:

- 1) наименьший угловой интервал между смежными штрихами;
- 2) начальный радиус шкалы, взятый по внешнему или внутреннему краю штрихов;
- 3) длина штрихов;
- 4) ширина (толщина) штрихов.

В зависимости от того, на какой поверхности нанесены деления, лимбы делятся на три категории: 1) плоские, 2) конические, 3) цилиндрические.

В кругах наивысшей точности плоская форма хороша тем, что она является наиболее благоприятной при нанесении делений с минимально возможными для данной делительной машины ошибками.

Ряд инструментальных погрешностей машины, влияющих на точность конических и цилиндрических лимбов, здесь не указывается.

Конические лимбы широко применяются для горизонтальных кругов технических теодолитов $1'$ и $30''$ точности и точных геодезических и астрономических универсалов $10''$, $5''$ и $2''$ точности. Угол при вершине конуса таких лимбов равен примерно 150° . Во многих военных приборах употребляются конические лимбы с вертикальной осью и конусом в 90° . Это обычно грубые шкалы, отсчитываемые по индексу на-глаз.

Цилиндрические шкалы применяются для вертикалов геодезических теодолитов и тахеометров, а также в виде отсчетных шкал на оптико-механических приборах и на ходовых винтах измерительных инструментов. В последнем случае они называются отсчетными барабанами.

По точности круговой шкалы лимбы можно разделить на: 1) грубые, 2) средней точности, 3) высокоточные. Чем точнее лимб, тем мельче делаются его интервалы и тоньше штрих. Расстояние между двумя смежными штрихами у грубых шкал делается не меньше 1 мм , толщина штриха от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{5}$ ширины интервала. Практически толщина штриха делается от $0,3$ до $0,1\text{ мм}$.

Лимбы средней точности обычно имеют для отсчета нониус, а самый отсчет производится через лупу с 6—8-кратным увеличением. При точности в $1'—30''$ толщина штриха на них делается от $0,02$ до $0,03\text{ мм}$.

Наконец, у наиболее точных лимбов, применяемых в геодезических и астрономических инструментах $5''—2''$ точности, где отсчеты делаются через 40—50-кратный микроскоп, толщина штриха берется равной $0,006—0,008\text{ мм}$.

Материал, употребляемый для изготовления лимбов, весьма разнообразен и зависит от назначения прибора и точности делений. В основном применяются цветные металлы: латунь, алюминий, нейзильбер, серебро, а также пластмассы — целлулоид, карболит и т. д.

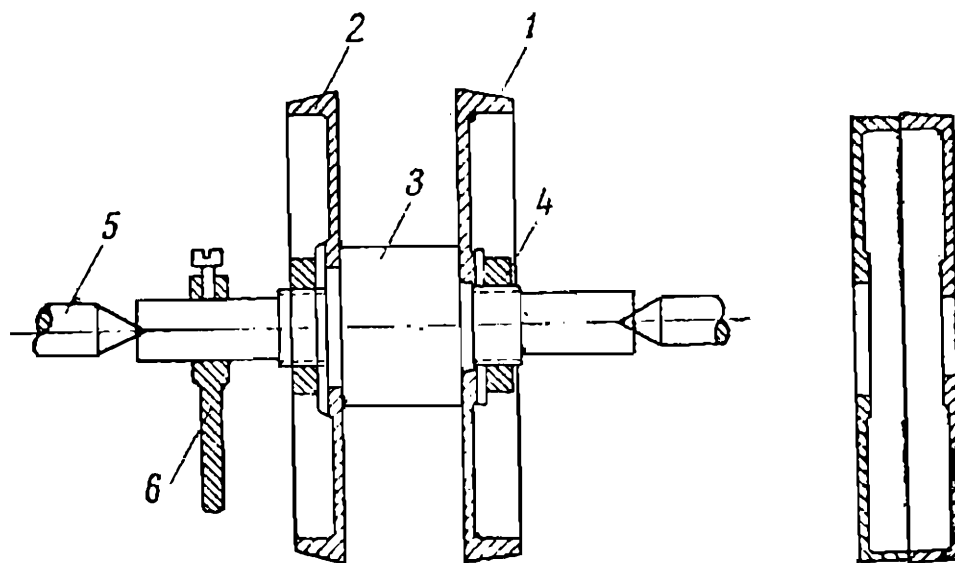
Алюминиевые шкалы применяются в случаях, когда желательно понизить общий вес прибора (например для авиационных приборов). Применяют чистый алюминий и его сплавы.

Нейзильбер ввиду его малой окисляемости и свойства хорошо принимать полировку применяется для шкал и лимбов приборов средней точности в виде паяных поясков на латунном основании. На нейзильбере хорошо получаются тонкие и ровные штрихи.

Обработка, предшествующая нанесению делений

Точные круги перед проточкой под деления для уничтожения напряжения в материале подвергаются старению, которое заключается в выколачивании их и в кипячении в воде или в масле с последующим медленным остыванием. Круги с напаянным серебром перед дальнейшей обработкой кипятятся в щелочи для нейтрализации кислоты, остающейся в месте спая.

Перед гравировкой заготовку лимба подвергают окончательной токарно-механической обработке, заключающейся в подготовке посадочных плоскостей и отверстий и проточке мест, предназначенных под деление. Протачиваются точные лимбы на прецизионных токарных станках типа «Кергер» или «Ауэрбах» (чаще всего на мертвых центрах). Развертываются отверстия вручную, цилиндрическими или конусными развертками с ограничительной шайбой. При проточке серебра только при чрезвычайно равномерной подаче резца и его особой заточке можно добиться достаточно ровной поверхности, которая в дальнейшем без труда зачистится углем.



Фиг. 320. Совместная проточка вертикала и нониуса.
1—вертикал, 2—нониус, 3—ось, 4—крепёжные гайки, 5—центры, 6—водильце.

Цилиндрические вертикальные круги и нониус удобно протачивать вместе, предварительно заклеив комплект. Это делается для того, чтобы разность диаметра лимба и нониуса, необходимая для скрытия зазора между ними при сборке, была постоянной (0,05—0,06 мм).

При проточке обе детали ставятся на станок в положение, обратное тому, в котором они стоят на горизонтальной оси прибора, и вместо цилиндрической поверхность делается слегка конусной (фиг. 320). После этого перевернутые и сложенные детали в месте соприкосновения будут иметь одинаковый уступ по всей окружности.

После проточки деталей их поверхность зачищают. Детали латунные и алюминиевые зачищают мелкозернистой шкуркой, а серебро — углем. Перед нанесением делений детали тщательно промывают в бензине.

Методы нанесения штрихов и знаков на различных круговых шкалах

Основными методами нанесения штрихов и знаков являются следующие:

1) гравирование, при котором прямые линии наносятся строганием, а кривые (цифры, буквы) фрезерованием;

- 2) штампование при помощи медленного тиснения или ударом (набивкой);
- 3) накатка;
- 4) травление штрихов и цифр, нарезанных граверным способом, по кислотоупорному покрытию;
- 5) фототравление.

Г р а в и р о в а н и е ш т р и х о в

Штрихи непосредственно наносятся на специальных круговых делительных машинах (ручных или автоматах)¹. Перед тем как поставить деталь на машину, размечают начало штрихов в радиальном направлении и положения первого штриха в азимутальном направлении. Разметка начала штрихов делается обычно для первой детали, а в дальнейшем только проверяют, не сбилась ли установка. Разметка ведется от того края детали, который имеет диаметр с более точным допуском. Если в дальнейшем край будет протачиваться, то это обстоятельство нужно учесть при разметке. Размечают или обыкновенным раздвижным циркулем, размер на котором устанавливается по масштабной линейке, или специальной вилочкой с фиксированным размером между острыми ножками. Разметка не производится в том случае, если деления начинаются непосредственно с края шкалы. Во многих случаях, в особенности для деталей с замкнутой шкалой, безразлично, откуда начинать делить. Но иногда определенное положение детали на приборе вызывает необходимость правильной ориентировки шкалы относительно детали. Обычно на чертеже положение первого штриха определяется относительно какого-нибудь отверстия на детали или выступа. Согласно этому и приспособление для разметки делается обычно в виде накладки со штифтом, входящим в отверстие, и скошенным краем, на котором острой иглой или карандашом помечают место первого штриха. Совершенно необходимо бывает размечать алидады или секторы — как двухсторонние, так и односторонние, для того чтобы шкала, лежащая на определенном отрезке дуги, разместилась симметрично относительно краев сектора. Размечать детали не приходится и в том случае, если сама оправка, на которой установлена деталь, имеет выступ или штифт, вполне определяющий однообразную посадку. В этом случае необходимо деление каждой шкалы начинать с одного и того же места червячной шестерни машины.

Для крепления деталей каждая делительная машина имеет выступающий конус или коническое отверстие, ось которых совпадает с осью вращения машины. На эти конусы надеваются оправки, каждая из которых приспособлена для определенной детали.

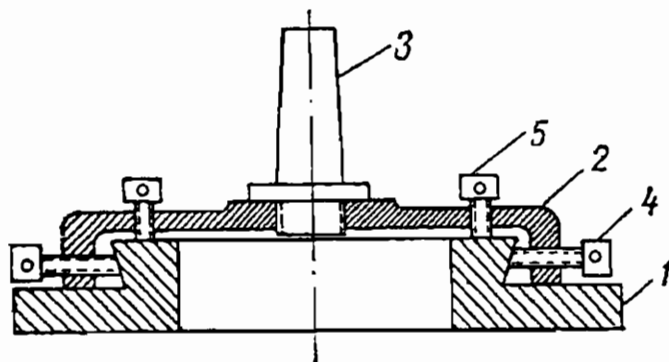
В точных круговых делительных машинах, где для некоторых деталей требуется точность центрировки 0,01 и выше, вместо постоянного конуса применяется центрировочная головка (фиг. 321). Головка имеет четыре центрировочных винта, расположенных под

¹ Устройство этих машин рассматривается в курсе станков.

углом 90° , и три подъемных винта для нивелировки детали. На головке укреплен наружный конус, на который надевается оправка. В зависимости от конфигурации детали посадочным местом у нее могут быть или центральное отверстие, или наружный край, или какой-нибудь промежуточный выступающий бортик.

Эти элементы дают детали горизонтальную центровку. Кроме этого, деталь должна иметь хорошо проточенную опорную площадку, относительно которой поверхность, предназначенная для деления, не имеет биения.

В большинстве случаев посадка производится по центральному отверстию, которое может быть цилиндрическим или коническим, а конус может сужаться кверху или книзу (последнее встречается значительно реже).

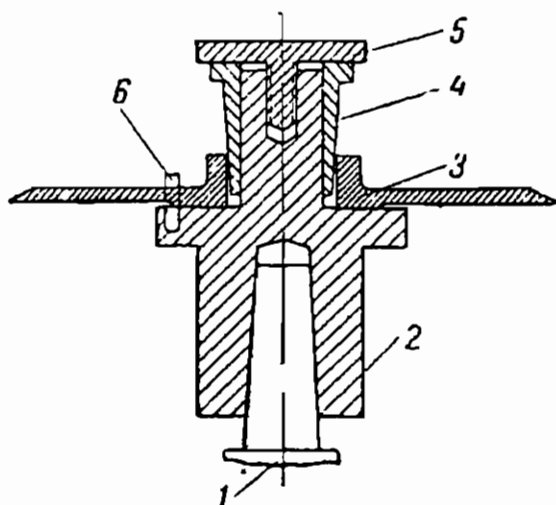


Фиг. 321. Центрировочная головка.

1—неподвижная часть, 2—подвижная часть, 3—посадочный конус, 4—центрировочные штифты, 5—нивелировочные винты.

Оправки делаются либо из латуни и подтачиваются под данную партию деталей, либо самоцентрирующимися (фиг. 322). Центрируются оправки на машине индикатором.

Если круговую шкалу при сборке дополнительно не центрируют, то несовпадение оси посадочного отверстия с осью вращения машины вызовет в отсчетах ошибку эксцентриситета, имеющую периодический характер. Максимальная величина ошибки определится по формуле:



Фиг. 322.

$$\sigma = \frac{4e \cdot 3438}{D},$$

где e — величина несовпадения посадочного отверстия с осью вращения;

D — диаметр шкалы.

Например, при $e = 0,01$ мм и $D = 170$ мм

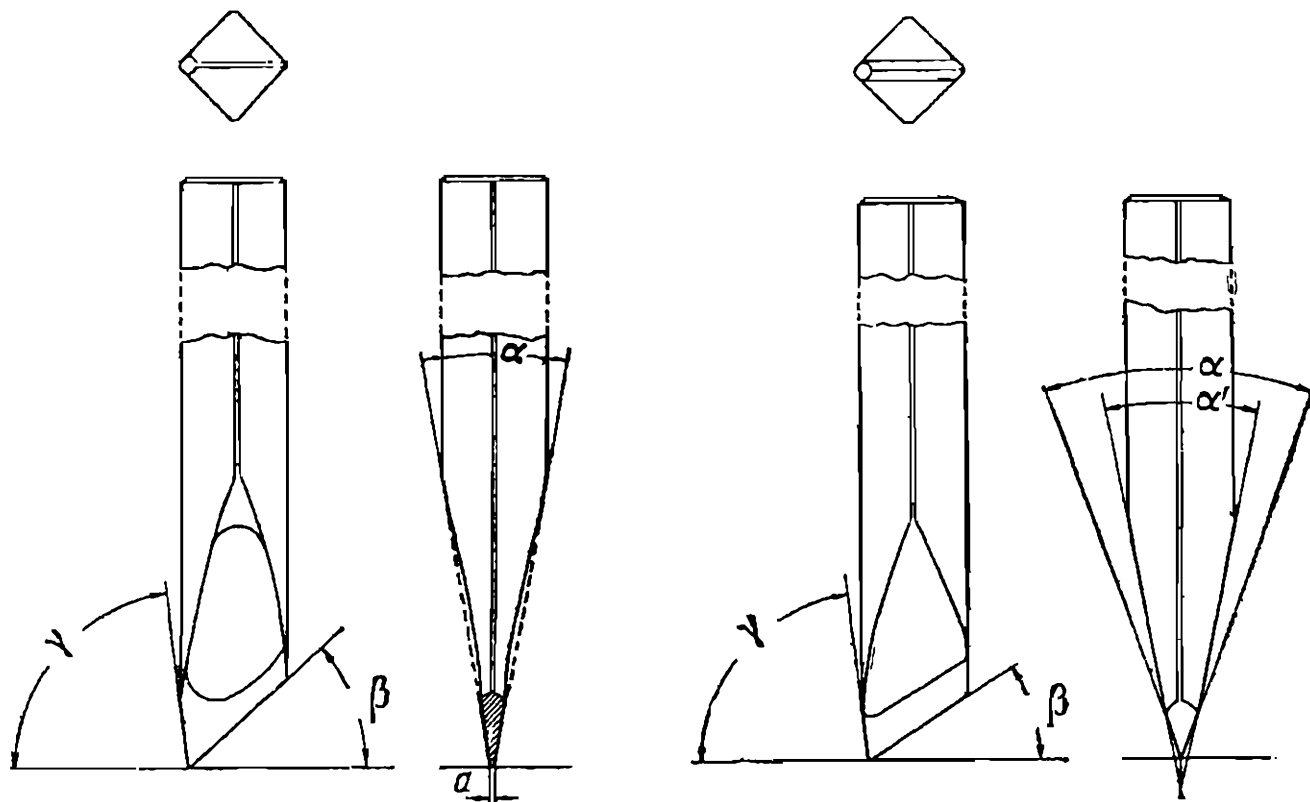
$$\sigma = \frac{4 \cdot 0,01 \cdot 3438}{170} \approx 0,8' \approx 48''.$$

Штрихи наносятся резцами из быстрорежущей или алмазной стали. Заготовка таких резцов выполняется в виде квадратных брусков сечением 8×8 или 6×6 мм и длиной 100 мм.

На фиг. 323 в трех проекциях показан резец. Угол α делается от $12-15^\circ$. Ширина режущей кромки a , или нижнее притупление, обычно делается процентов на 20 меньше требуемой ширины штриха. Задний угол β выдерживается в пределах $25-35^\circ$. Передний

угол γ от 60° — 70° . При снятии боковых граней резца его приходится поворачивать при переходе от одной грани к другой не на 180° , а на некоторый иной угол, зависящий от углов α и β . Это делается для того, чтобы линия пересечения боковых граней имела с осью резца угол, равный $(90^{\circ} - \beta)$, а нижняя грань, образующая задний угол β , была одинаковой ширины на всем протяжении.

Последнее обстоятельство важно при переточках резцов, которые приходится делать довольно часто. Ширина режущей кромки при этом не меняется. Режущие грани доводятся вручную на специальных брусках различной мягкости, лучшими из которых являются марки «Индия» и «Арканзас», применяющиеся для окончательной



Фиг. 323.

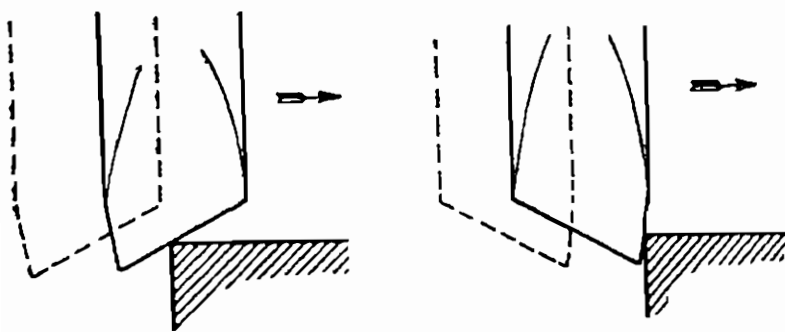
Фиг. 324.

доводки. Очень важным условием для хорошей работы резца является правильность заточки нижней режущей кромки. Она должна быть строго перпендикулярна оси резца. В противном случае резец может односторонне искривить штрих. Так же важно отсутствие заусенцев на режущих кромках. Если по техническим условиям можно допустить остроконечный штрих, то заточку резца можно делать несколько иначе, — так, чтобы получить треугольную канавку (фиг. 324).

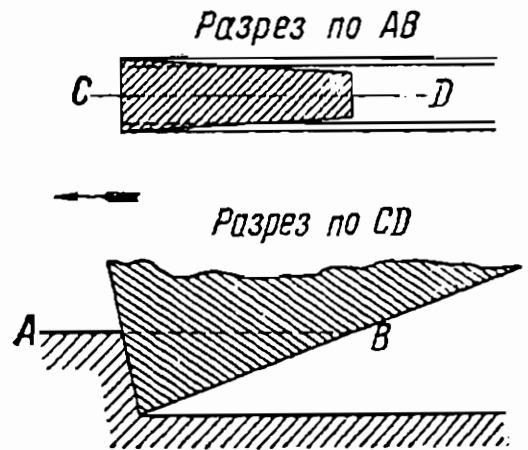
При нанесении делений резец можно устанавливать двояко: 1) передом, 2) затылком.

В первом случае резец лучше выбирает материал с большим отходом стружки и оставляет небольшие заусенцы, но на сухом материале работает плохо, дает рваный штрих («елочкой»). При резании затылком происходит скорее не резание, а продавливание штриха, стружки отходит мало и образуются большие заусенцы. Но после полировки штрих получается ровный и чистый.

Совершенно необходимо применять резание затылком в тех случаях, когда приходится начинать резать с края штриха (фиг. 325). Для лучшего уяснения различных условий резания на фиг. 326 показан разрез резца в момент резания плоскостью, совпадающей с плоскостью детали. Чем толще штрих, тем большая требуется нагрузка на резец для получения надлежащей глубины канавки. Конечно, величина нагрузки зависит и от материала. Для штриха в 0,2—0,3 мм по латуни приходится давать нагрузку до 10—15 кг. В некоторых случаях для того, чтобы не слишком перегружать чертилку и получить чистый, глубокий штрих, приходится шкалу проходить с двух раз. Следует еще упомянуть, что при вязком материале происходит наклеп стружки на режущую кромку, вследствие чего



Фиг. 325.



Фиг. 326.

резец начинает проскальзывать и делать мелкий штрих. Борьба с этим можно, смазывая поверхность детали машинным маслом. Давление на резец задается различными путями. Первый способ — надевание груза на свободно подвешенный резец. Второй способ — давление пружинной. И, наконец, третий способ — принудительное опускание резца до упора при помощи кулачка. Деление с грузом или с пружиной применяется для тонких штрихов, где вообще нагрузка незначительна, а также для деталей с неровной поверхностью, отступающей от строгой плоскости, или для деталей, которые благодаря грубым допускам на механическую обработку садятся с некоторым перекосом. Третий способ тут применять нельзя, так как деления будут получаться различной ширины и глубины.

Оцифровка деталей

На каждом лимбе или вообще круговой шкале, кроме штрихов, имеется оцифровка, а иногда и небольшие пояснительные слова или буквы. Оцифровка обычно делается через 5 или 10°. На точных лимбах с интервалами через $\frac{1}{6} \div \frac{1}{15}^\circ$ — через 1°. Более мелкой оцифровки не встречается. Оцифровка производится на специальных гравировальных машинах — пантографах¹. На ручных копирах произ-

¹ Устройство пантографов, так же как и делительных машин, рассматривается в курсе станков.

водится оцифровка шкал с цифрами не больше 2 мм и толщиной штриха до 0,1 мм. В зависимости от толщины штриха и материала делают от 2 до 12 обводов каждого знака.

Вообще принято толщину штрихов цифр делать процентов на 50 больше, чем толщину делений, хотя это выдерживается и не всегда. Необходимо оцифровку делать до деления и цифры отпемзовать перед нанесением делений, иначе при пемзовке цифр могут быть попорчены штрихи.

Посадка деталей на головку пантографа ничем не отличается от посадки на конус делительных машин.

Конструкция оправок и разметочных приспособлений почти одинакова. Оцифровка обычно производится последовательным набором всех цифр по порядку, например, 0, 5, 10... 225, 230... и т. д., но в некоторых случаях бывает выгоднее, не снимая трафарета, нанести какую-нибудь одну цифру на всем ее протяжении, например, все сотенные: 1, 2, 3 и т. д.

Для цифр с толщиной штриха свыше 0,1 мм следует применять фрезерный пантограф. Преимущество этого способа заключается в том, что резец опускается на деталь со сравнительно небольшой нагрузкой, и в 2—3 обвода можно получить штрих шириною до 0,3—0,4 мм. Хорошо заточенный резец почти не оставляет заусенцев на штрихе, что значительно облегчает последующую зачистку детали. Фрезерный пантограф незаменим при нанесении цифр и слов на крашенные детали, где совершенно невозможно применять последующую зачистку.

Отделка детали после нанесения делений

После деления и оцифровки для снятия заусенцев, образовавшихся при делении на штрихах и цифрах, применяется зачистка. В зависимости от материала и толщины штрихов зачистка производится различными способами. Для грубых штрихов при не особенно вязком материале (латунь Л-69, дуралюмин, сталь) применяется зачистка на токарном станке шкуркой с номерами от 1 до 00. При зачистке шкурка обертывается вокруг деревянного или костяного кубика, туго натягивается на нем пальцами и подводится к зачищаемой детали. Особенно осторожно нужно зачищать вначале, едва дотрагиваясь шкуркой до поверхности детали, чтобы только сбить заусенцы. При сильном нажатии заусенцы можно завалить в штрихи. Штрихи при этом получаются затянутыми, с перерывами. Достоинством указанного способа зачистки является наличие кольцевых штрихов, получающихся от шкурки и придающих детали красивый вид. Кроме того, способ зачистки на станке значительно эффективнее других способов зачистки.

Вместо шкурки для зачистки вручную применяют иногда пемзу. Пемза имеет пористое строение и хорошо пропитывается водой, с которой производится зачистка¹.

¹ От слова «пемза» получил свое название и способ зачистки—«пемзовка», распространяющийся теперь, правда, и на зачистку углем.

Детали с тонкими и средней толщины штрихами зачищаются углем. Для более грубых штрихов (по латуни и алюминию) применяется березовый уголь, а для штрихов тонких (по серебру), — ольховый или липовый. Березовым углем пемзуют с водой, а липовым или ольховым — с деревянным маслом.

При пемзовке плоских лимбов их кладут прямо на стол или верстак, на котором производится работа, и, придерживая левой рукой, правой производят зачистку короткими и быстрыми возвратно-поступательными движениями. Цилиндрические круги пемзуются на деревянной подставке с горизонтальной деревянной же осью.

Высокоточные (5" и 2") круги инструментов пемзуются на поворотной головке при помощи ватки, смазанной угольной пылью с маслом. Угольная пыль натирается кусочком угля, смоченным маслом, на бархатном напильнике.

Такая пемзовка отнимает довольно много времени, но дает очень гладкую поверхность, на которой почти незаметны следы обработки углем.

Прежде чем пемзовать деталь со штрихами и цифрами, ее закрашивают интенсивно черной (или иной) краской, чтобы повысить видимость шкал и оцифровки. Красят черной эмалевой краской или спиртовым лаком. После закраски деталь обтирают тряпкой и пемзуют. Лимбы, покрашенные эмалевой краской, должны некоторое время подсохнуть в термостате при $t = 80-100^\circ$. При спиртовом лаке пемзовать можно сейчас же после закраски. Детали с делениями по краске, запускаются легкоплавким металлом Вуда следующим образом. В миску наливают воду, слегка подкисленную соляной кислотой, и ставят ее на газовую горелку. Когда вода нагреется до $t = 90-100^\circ$, в нее кладут кусочек металла Вуда, который быстро расплавляется и растекается по ванночке широкой каплей. Поверхность детали приводится в соприкосновение с металлом, который быстро заполняет все риски. Излишки металла под водой же снимают кисточкой.

Штампование

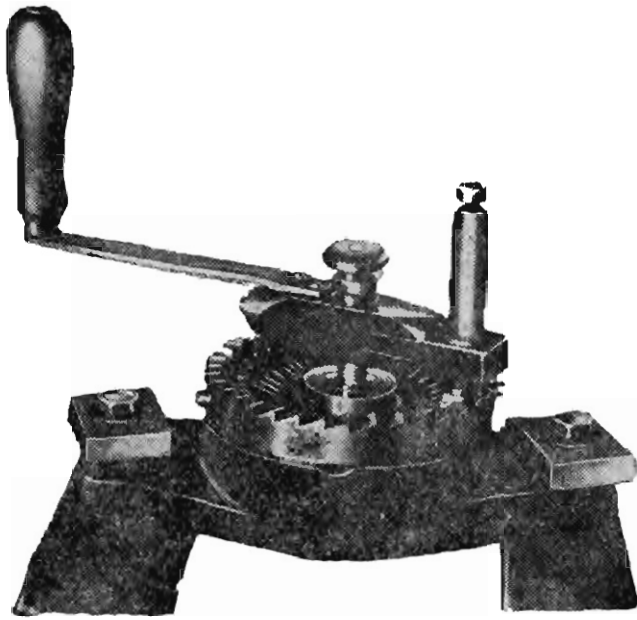
Метод штампования или выдавливания применяют только для шкал невысокой точности преимущественно на латунных деталях.

Приспособления для штамповки обычно бывают специализированными, т. е. предназначенными только для одной детали.

Примеры подобных приспособлений показаны на фиг. 327 и 328. Приспособление, показанное на фиг. 327, предназначено для набивки цифр на плоском кольце и состоит из основания с круглой выточкой для посадки детали. Выточка имеет диаметр, несколько больший диаметра детали.

На основание накладывается крышка с рядом косых зубцов, расположенных по окружности. Несколько ближе к центру, также по окружности, против впадин зубьев (в крышке) сделан ряд отверстий. В отверстия вставлены пуансоны, которые представляют собой

отдельные закаленные цилиндрики $\varnothing 5$ мм; хорошо пригнанные к отверстиям. На нижнем торце каждого цилиндрика выгравирована выпуклая цифра в зеркальном изображении по отношению к цифрам детали.

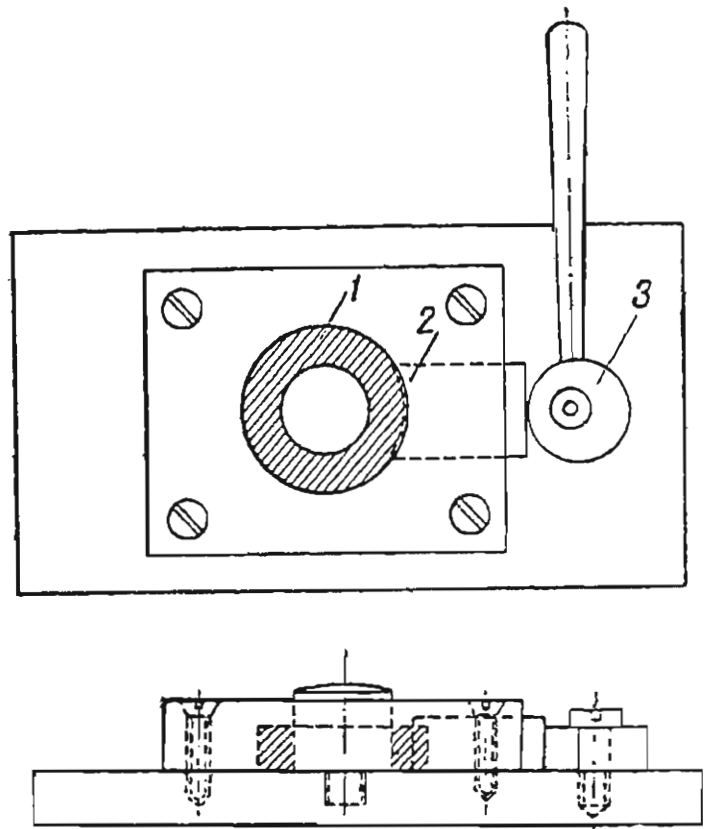


Фиг. 327. Приспособление для набивки делений.

рашками, и ручка поворачивается на полную окружность. Боек каждый раз, находя на зуб, приподнимается и затем, соскальзывая, бьет по пуансону. Эффективность этого приспособления по сравнению с гравированием огромна. Качество получающихся цифр в основном зависит от качества изготовления пуансонов.

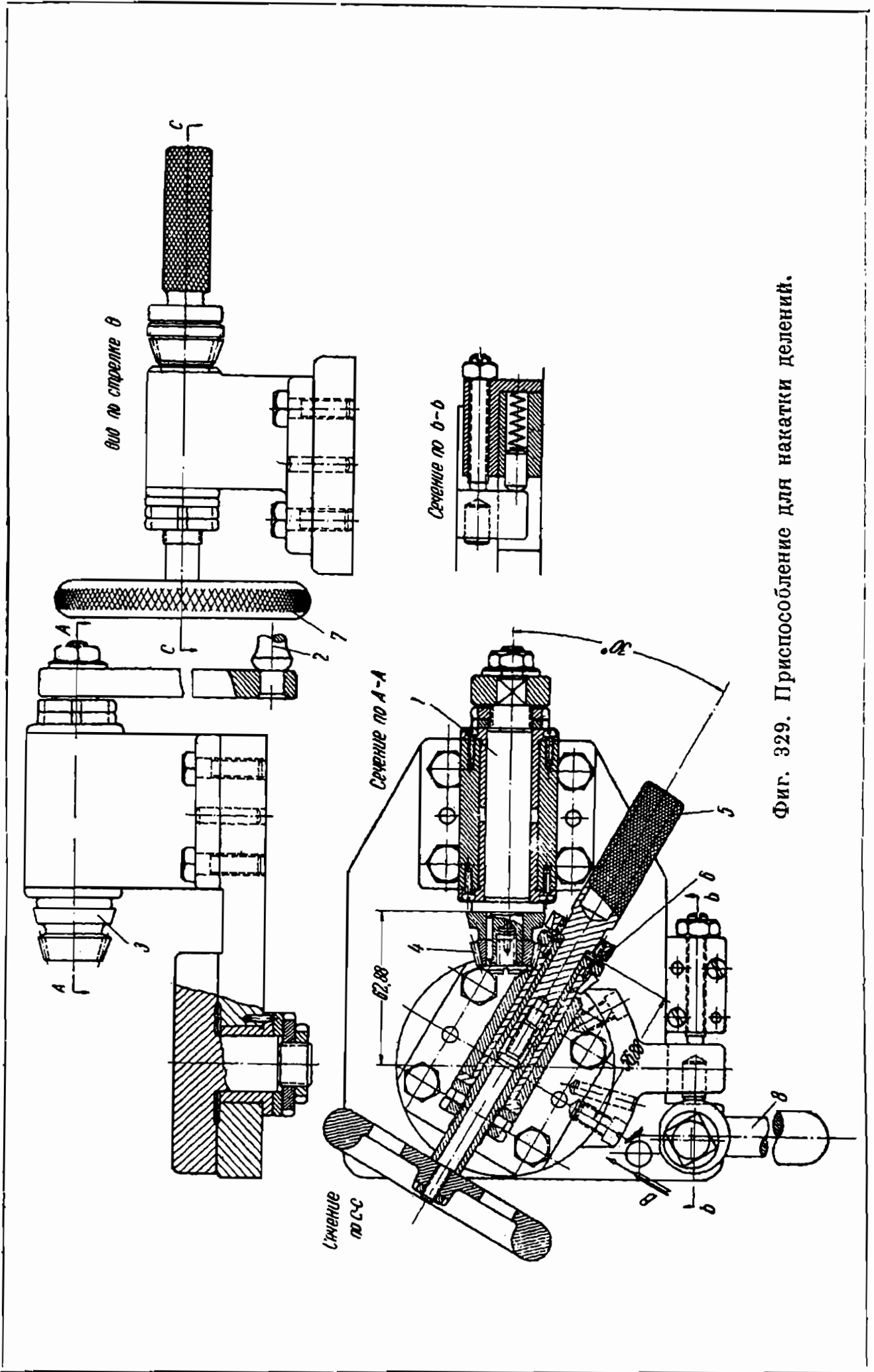
Другое приспособление (фиг. 328) основано на принципе медленного тиснения. На прямоугольной пластинке укреплено стальное кольцо с круглым отверстием, сделанным по диаметру детали. Часть кольца вырезана и в паз вставлен пуансон, у которого радиус внутренней цилиндрической поверхности равен радиусу детали. На этой поверхности выгравирована выпуклая шкала. В пуансон упирается эксцентрик с длинной ручкой, вращающийся на оси, закрепленной на основании приспособления. При повороте ручки экс-

В центре окружности, образованной пуансоном, на оси посажена ручка. На ручке укреплен поршень с бойком и сильной пружиной. С одной стороны боек имеет скошенный край, которым скользит по зубцам, а с другой — площадку, приходящуюся над окружностью пуансонов. Процесс набивки цифр происходит следующим образом. В основание вставляется деталь и закрывается крышкой. Правильная центровка кольца получается благодаря вводу конца оси крышки в центральное отверстие детали. Затем крышка закрепляется на основании двумя болтами с ба-



Фиг. 328. Приспособление для тиснения делений.

1—деталь, 2—пуансон, 3—эксцентрик.



Фиг. 329. Приспособление для накатки делений.

центрик давит на пуансон и заставляет его двигаться в радиальном направлении и нажимать на деталь. При достаточном давлении на детали получается оттиск штрихов и цифр.

Н а к а т к а

В некоторых случаях при сравнительно грубых штрихах и цифрах выгодно их накатывать на деталь стальным закаленным роликом (фиг. 329). На массивной плите укреплены две вращающиеся во втулках оси под углом 30° друг к другу. Угол в 30° соответствует углу конуса детали. Одна из осей закреплена неподвижно, а другая имеет возможность поворачиваться относительно вертикальной оси. Неподвижная ось 1 сплошная и имеет на одном конце ручку 2, а на другом — наглухо закрепленные конический ролик 3 и шестеренку 4. Другая ось — полая и в нее вставляется с одной стороны оправка 5 с гильзой 6, на которую надевается деталь, а с другой стороны — закрепительный винт оправки с маховичком 7.

Процесс накатки заключается в том, что поворотом ручки эксцентрика 8 приводят в соприкосновение ролик и деталь, а также вводят в зацепление обе конические шестеренки, после чего поворачивают ручку 2.

Т р а в л е н и е ш т р и х о в и ц и ф р , н а р е з а н н ы х г р а в е р н ы м с п о с о б о м п о к и с л о т о у п о р н о м у с л о ю

Сущность этого метода заключается в следующем.

Деталь, на которой должны быть нанесены деления и цифры, покрывают при помощи кисточки асфальтовым бензольным лаком. Подсыхать лаку после покрытия требуется не более 5—7 мин.

Деление производится на обычных круговых автоматах, но нагрузку приходится давать значительно меньшую, чем при обычном способе деления. Резец должен только снять покрытие и немного затронуть металл, чтобы освежить поверхность для травления.

Затем деталь травят. Состав травильной смеси в зависимости от материала лимба различен. Для травления по стали применяется следующий рецепт: азотной кислоты 40%, уксусной кислоты 30%, остальное — спирт денатурированный. Для латуни применяется хлорное железо в растворе.

Травление производится или в ваннах или смазыванием при помощи кисточки. Время травления определяется практически на пробном образце. После травления детали промывают в проточной воде для удаления остатков кислоты, а покрытие растворяют в бензине. Запуск штрихов (закраска) производится обычным образом, как на гравированных деталях.

Б. Эксцентрики

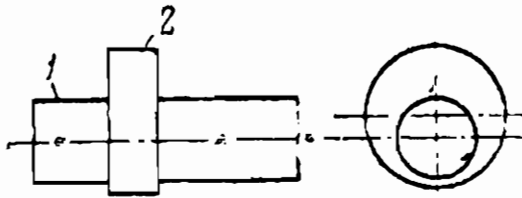
Обработка каждой из поверхностей эксцентрика в отдельности выполняется методами, рассмотренными выше.

Новой технологической задачей является получение требуемого эксцентриситета. Эта задача разрешается обычно путем обработки

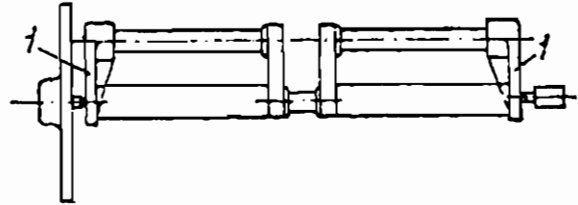
эксцентрика с двух установок, либо с одной установки, но с двух позиций.

При обработке валика, показанного на фиг. 330, на каждом из торцов делают по два центровых отверстия. Установив валик на одну пару центровых отверстий, обрабатывают сначала поверхность 2, после чего деталь переставляют и обрабатывают цапфы 1. Если эксцентриситет настолько велик, что расположить оба центра на торце цапфы невозможно, можно применить способ, показанный на фиг. 331.

На фиг. 332 показан прецизионный зажимной патрон для установки валика при обтачивании эксцентричной части 1. Корпус патрона сделан концентричным с осью шпинделя. Патрон укреплен на переходной планшайбе, которая отделяется после установки на станок. Весь зажимной механизм полностью закрыт, что предохраняет его от попадания грязи и стружек. Для зажатия детали поворачивают рукоятку 2, что заставляет перемещаться в продольном направлении втулку 3. При освобождении детали втулка 3 под действием пружины передвигается вперед.



Фиг. 330.



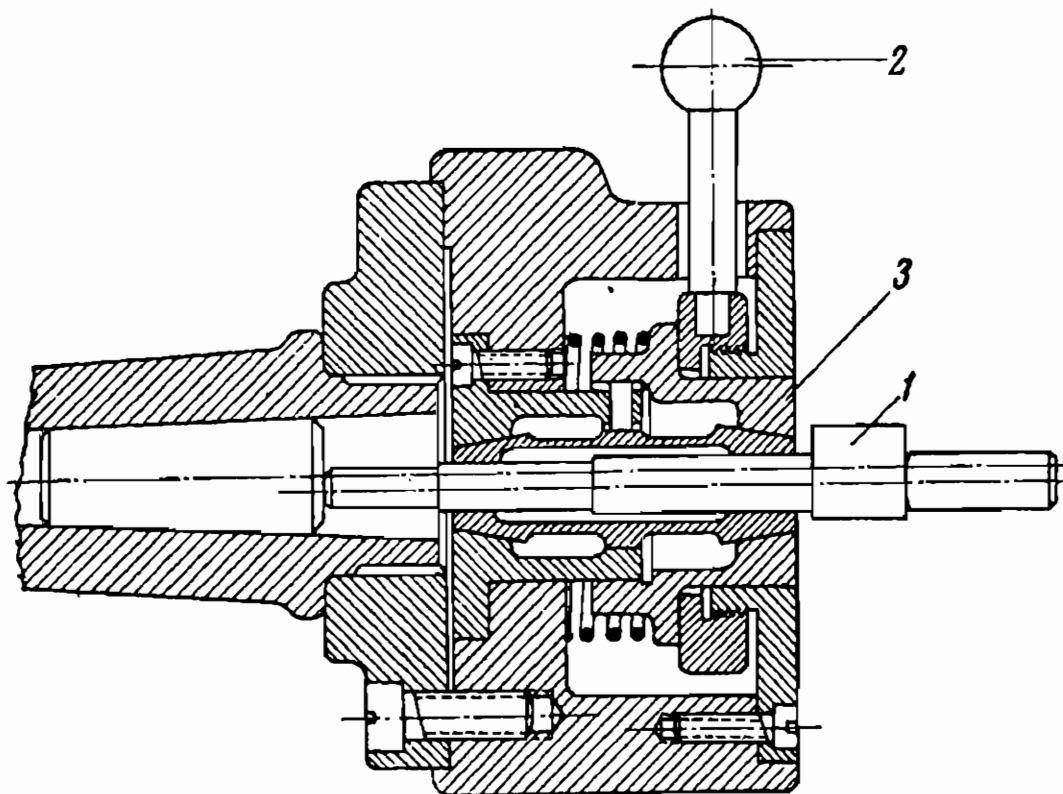
Фиг. 331.

На фиг. 333 показан пример обработки одной из эксцентричных деталей. Деталь изготавливается из пруткового материала. Первая операция (фиг. 333, а) выполняется на револьверном станке и состоит из следующих переходов: 1) продвинуть до упора; 2) подрезать торец; 3) обточить по $\varnothing 12,8$ мм на длину 33 мм; 4) обточить первый уступ; 5) проточить канавку; 6) проточить уступ $\varnothing 11,7$ мм; 7) отрезать.

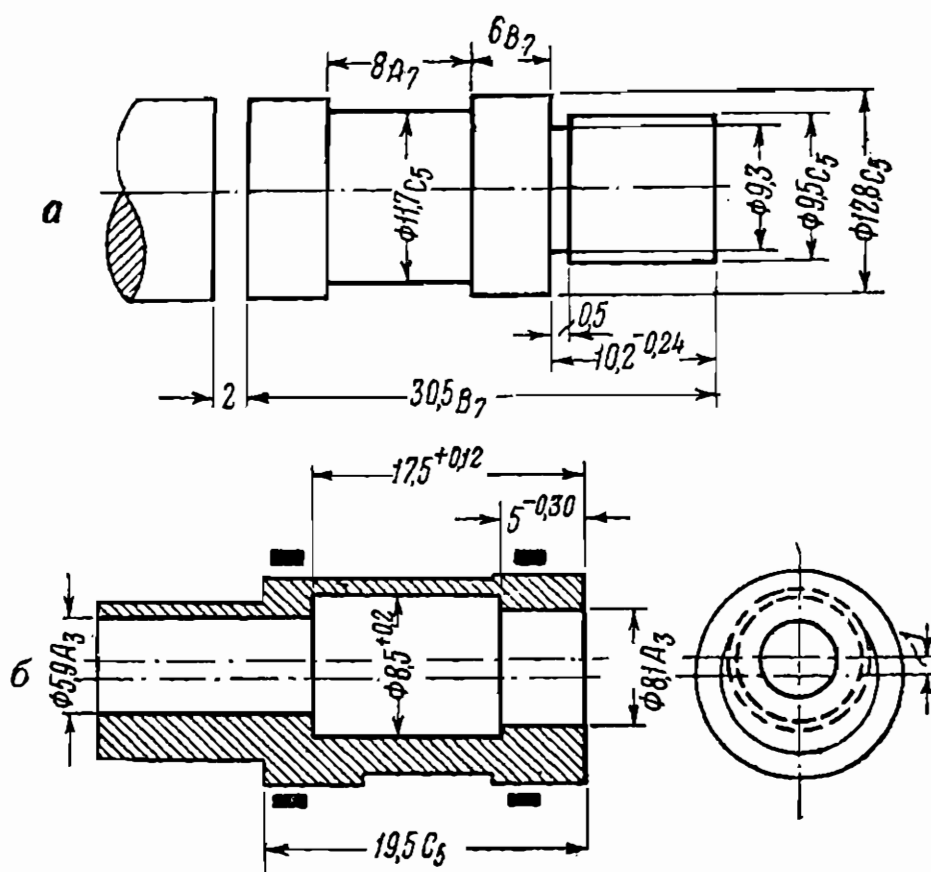
Далее нужно обработать отверстие, расположенное эксцентрично по отношению к обточенной при первой операции наружной поверхности. Для этого деталь устанавливается в специальный эксцентричный патрон, аналогичный показанному на фиг. 332. Операция выполняется на револьверном станке. Порядок переходов следующий (фиг. 333, б): 1) подрезать торец; 2) центровать; 3) сверлить; 4) рассверлить $\varnothing 5$ мм до 5,8 мм и просверлить $\varnothing 8$ мм; 5) расточить $\varnothing 8$ мм до 8,5 мм; 6) развернуть $\varnothing 5,8$ мм до 5,9 мм; 7) развернуть $\varnothing 8$ мм до 8,1 мм.

Обработать эксцентрик в одну установку при двух позициях можно, закрепляя деталь в ползуне, перемещающемся по направляющим планшайбы.

Иной принцип показан схематически на фиг. 334. Деталь, у которой нужно проточить наружную поверхность эксцентрично по отношению к ранее обработанному отверстию, центрируется при помощи пальца 1 и закрепляется на поворотной части 2, имеющей хвост 3, входящий в отверстие планшайбы, навинченной на шпин-



Фиг. 332. Патрон для обтачивания эксцентричных' деталей



Фиг. 333. План обработки эксцентричной детали.

О П Е Ч А Т К А

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
287	20 сверху	$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2 \cos \gamma}$	$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos \gamma}$	авт.

Проф. А. Б. Я х и н, Технология точного приборостроения. Зак. № 108.

дель станка. Ось этого отверстия находится на расстоянии e_1 от оси вращения шпинделя. В свою очередь ось пальца 1 расположена эксцентрично по отношению к оси хвоста 3. Обозначим этот эксцентриситет через e_2 .

Если часть 2 закрепить на планшайбе в положении, показанном на фигуре, эксцентриситет между отверстием детали и ее наружной поверхностью будет равен:

$$e_{\min} = e_1 - e_2.$$

Если часть 2 повернуть на 180° , то

$$e_{\max} = e_1 + e_2.$$

Поворачивая часть 2 на соответствующий угол γ и закрепляя ее в этом положении, можно получить любой эксцентриситет между отверстием детали и его наружной цилиндрической поверхностью:

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2 \cos \gamma}.$$

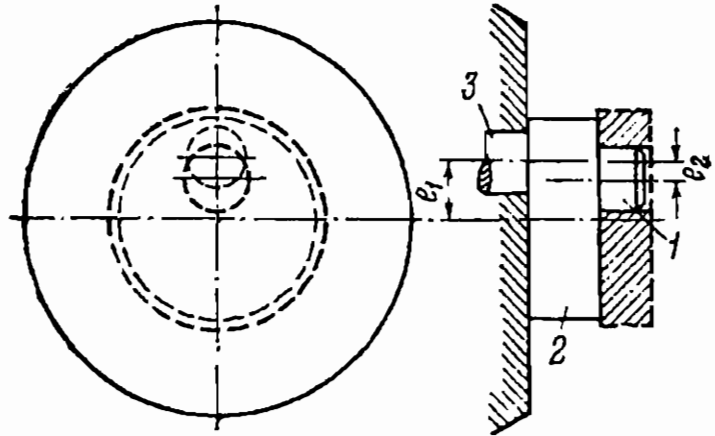
Если, например, требуется сконструировать приспособление для обработки деталей с эксцентриситетами в пределах от 2 до 5 мм, то соответствующие значения e_1 и e_2 определяются из уравнений:

$$e_1 - e_2 = 2; \quad e_1 + e_2 = 5;$$

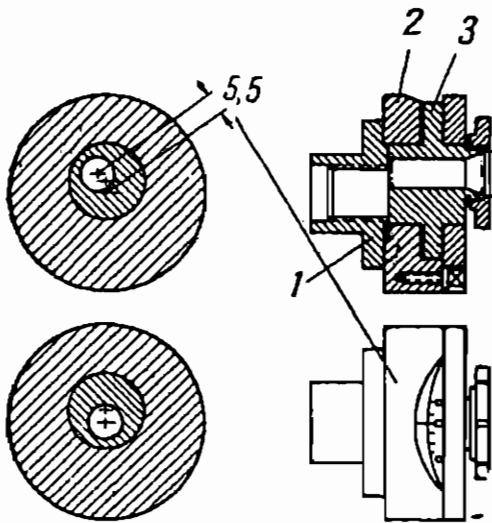
$$e_1 = 3,5 \text{ мм}; \quad e_2 = 1,5 \text{ мм}.$$

Приспособления, основанные на рассмотренном принципе, особенно эффективны для мелкосерийного производства, так как каждое из таких приспособлений можно легко приспособить для обработки деталей с различными эксцентриситетами.

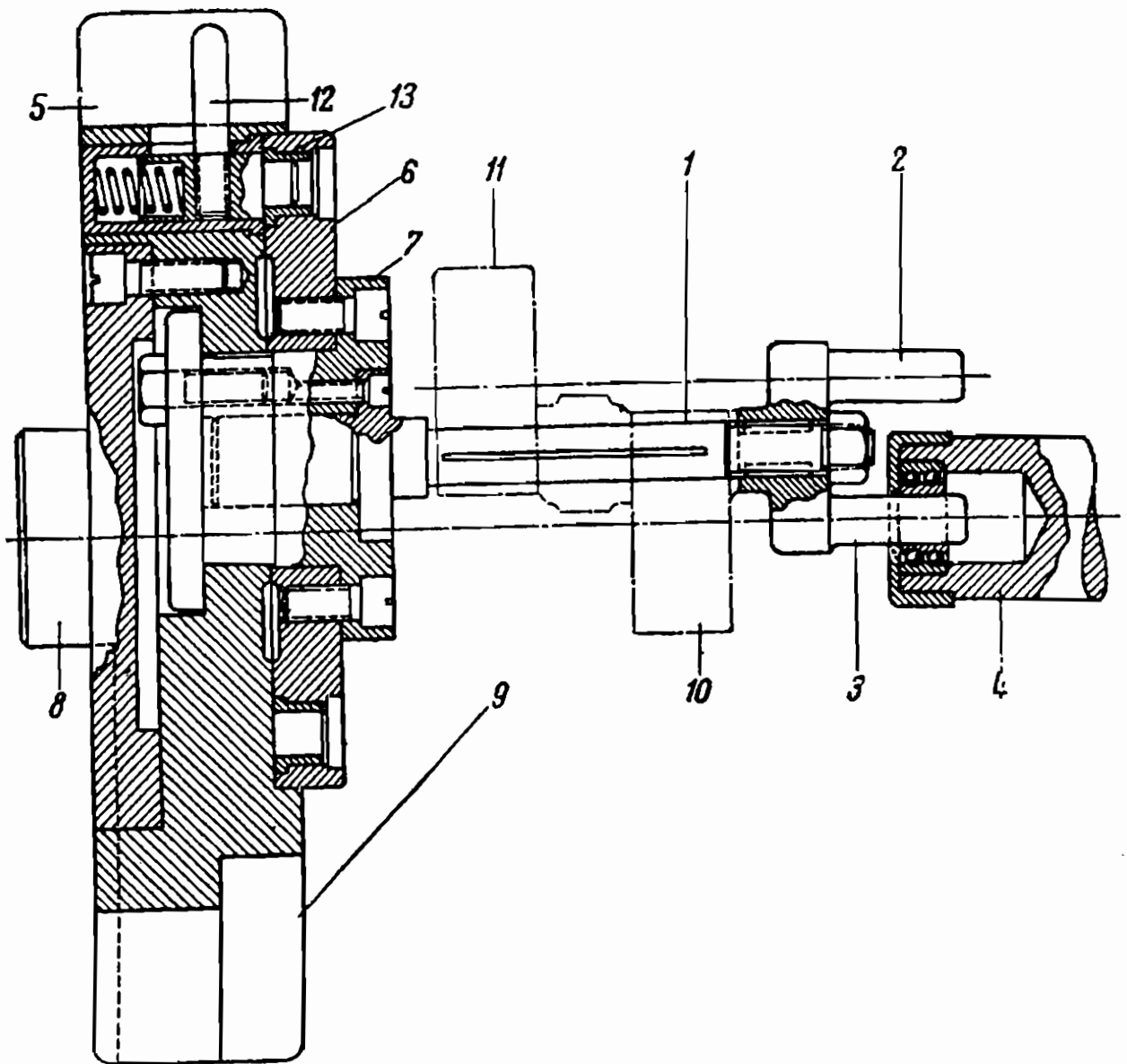
На фиг. 335 показано одно из таких приспособлений, применяемое на оптико-механическом заводе при обработке эксцентриковых колец для различных оптических систем. Приспособление надевается на шпиндель токарного станка при помощи фланца 1, в котором закрепляется часть 2 с эксцентричным отверстием. В последнем устанавливается часть 3, с эксцентричным отверстием, в которое входит цапга, зажимающая деталь. Требуемый эксцентриситет устанавливается по шкале.



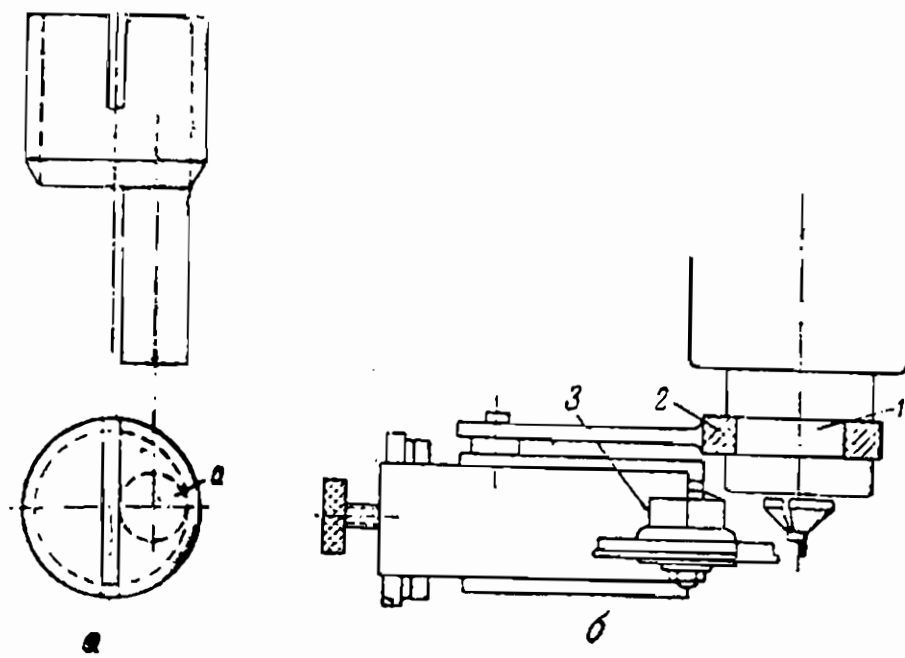
Фиг. 334. Схема патрона для обтачивания деталей с различными эксцентриситетами.



Фиг. 335. Приспособление для обтачивания эксцентриковых колец.



Фиг. 336. Приспособление для обработки двух эксцентриков.



Фиг. 337.

На фиг. 336 представлено приспособление, предназначенное для обработки у одной детали (показана пунктиром) двух эксцентриков, противоположных друг другу. Деталь устанавливается на оправке 1, на правом конце которой закреплена шайба с двумя пальцами 2 и 3. В процессе обработки один из пальцев входит в шарикоподшипник, установленный в стержне 4, закрепленном в револьверной головке. Деталь обрабатывается резцом, установленным в боковом супорте.

Приспособление состоит из корпуса 5, диска 6, прикрепленного винтами к втулке 7, и оправки 1. Палец 8 предназначен для центрирования приспособления на планшайбе. Закрепляется приспособление болтами, проходящими через пазы 9. Фланец оправки 1 соединен со втулкой 7 винтами. Ось втулки 7 (а следовательно, и оси диска 6 и оправки 1) расположены эксцентрично по отношению к оси пальца 8, т. е. к оси вращения шпинделя.

Величина эксцентриситета равна заданной (у детали). В положении, показанном на фигуре, обрабатывается правый эксцентрик 10. Чтобы установить деталь в положение для обработки левого эксцентрика 11, револьверная головка перемещается вправо до разобщения пальца 3 и шарикоподшипника.

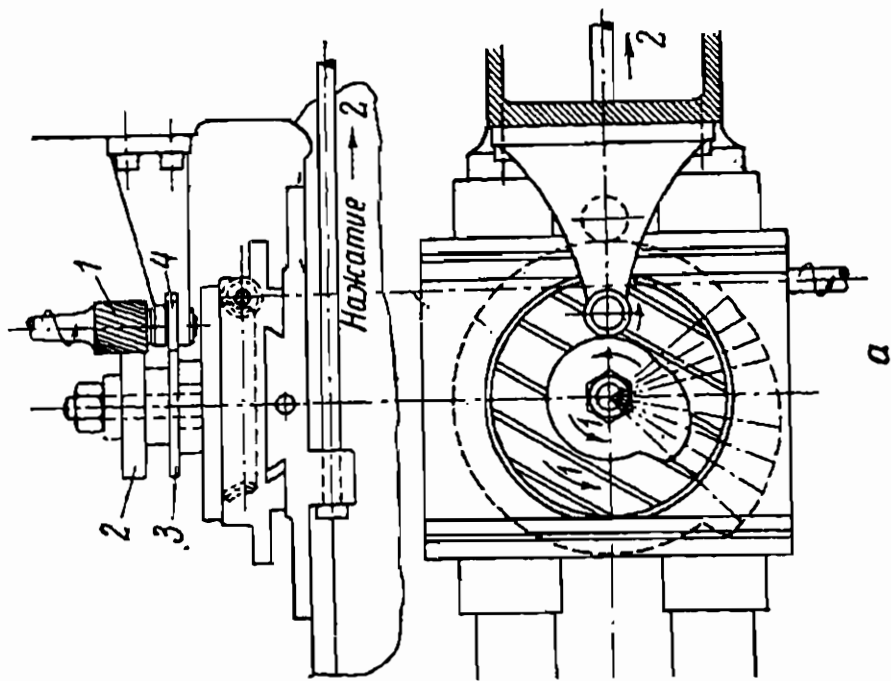
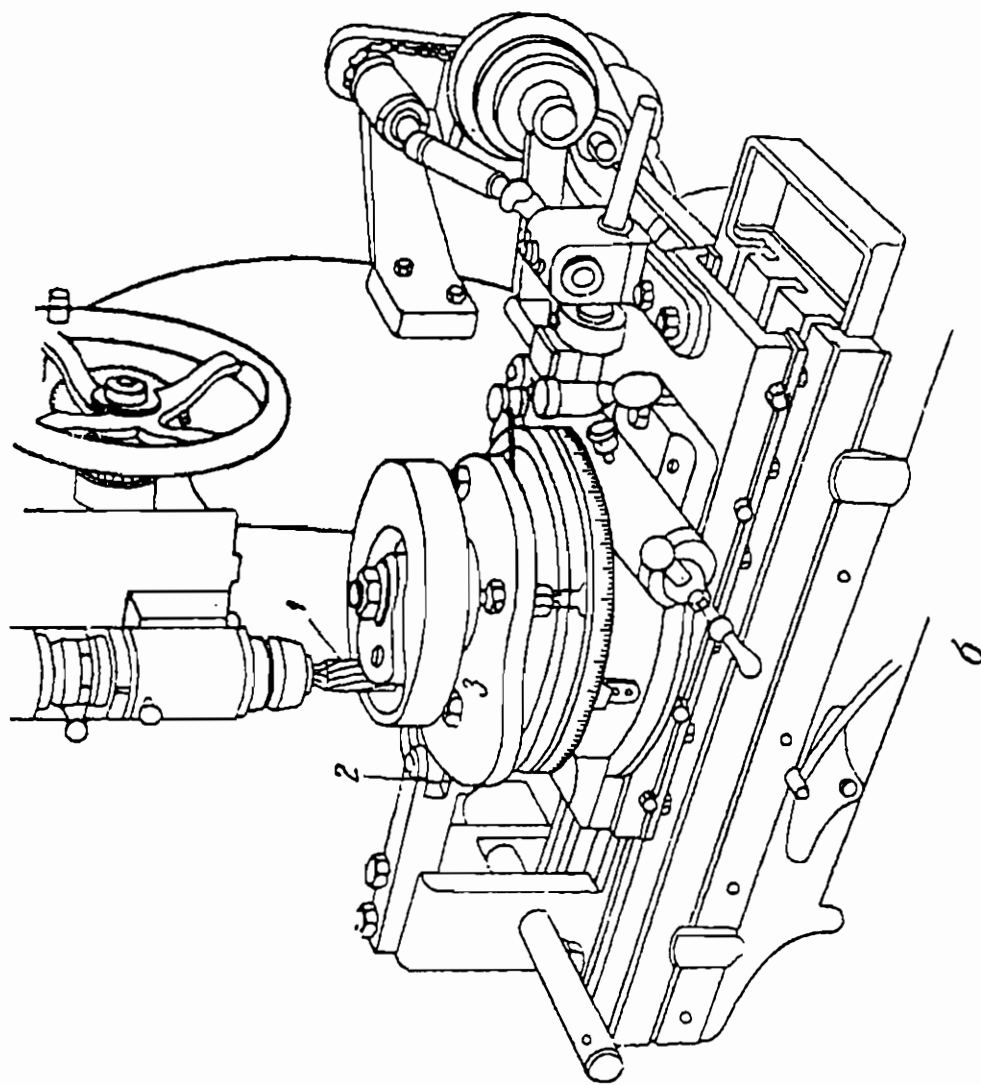
Вслед за этим при помощи рукоятки 12 палец 13 выдвигается из втулки и диск 6 поворачивается на 180° . Далее вновь придвигается револьверная головка, и палец 2 входит в шарикоподшипник.

На совершенно ином принципе основано показанное на фиг. 337, б приспособление к токарному автомату, применяемое на часовых заводах при эксцентричном обтачивании стержня установочного винта анкера (фиг. 337, а). Оно состоит из надетого на эксцентричную шейку шпинделя 1 шатуна 2. Второй конец шатуна соединен с супортом, несущим резец 3. При вращении шпинделя супорт ходит по направляющим вперед и назад.

В. Кулачки

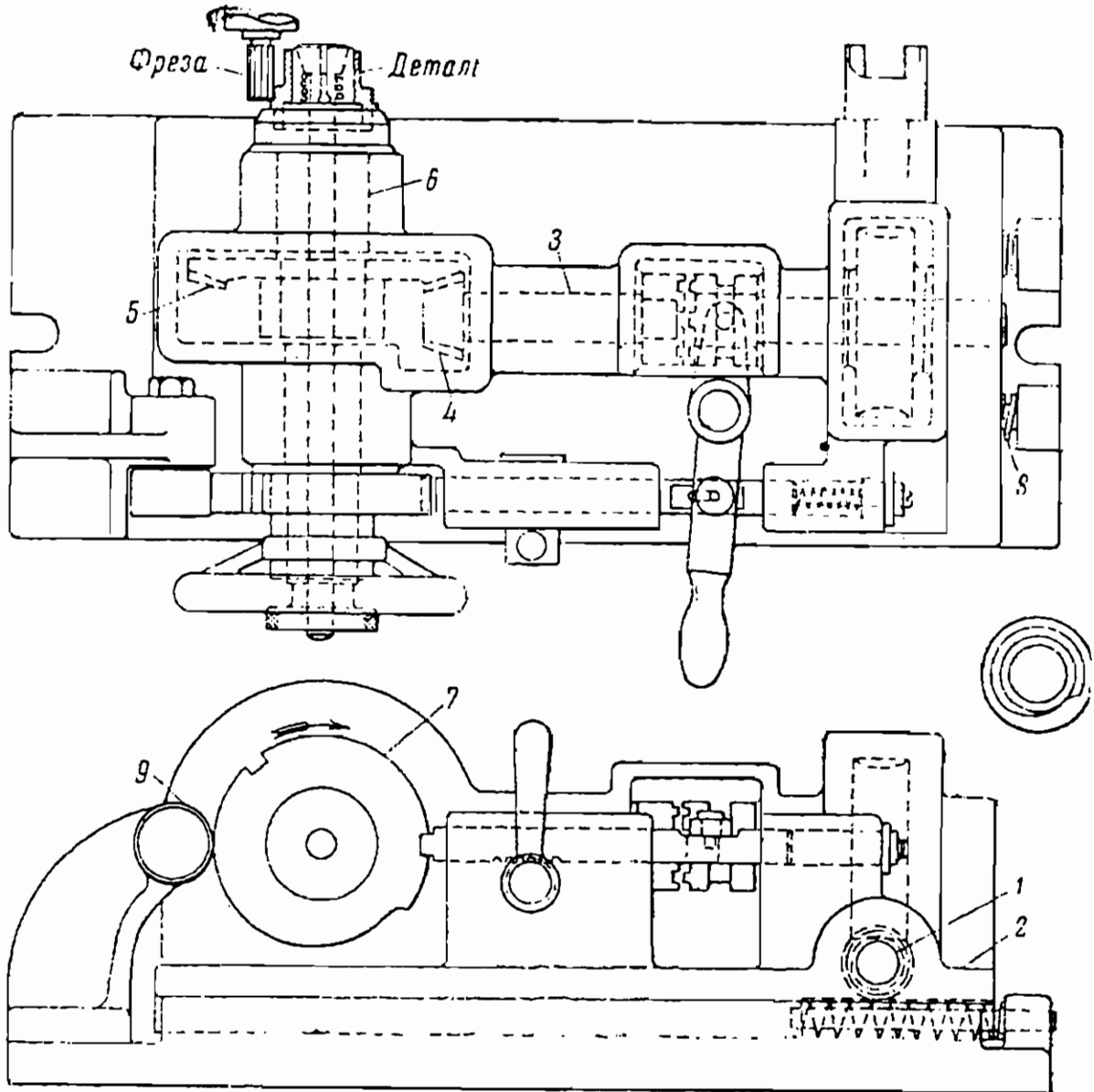
Характерной технологической задачей для деталей, относимых к классу кулачков, является получение наружной криволинейной поверхности.

Основным методом решения этой задачи является фрезерование по копиру (шаблону). Наиболее распространенная схема фрезерования по копиру показана на фиг. 338, а. Копир, представляющий собою стальную каленую шайбу, закреплен вместе с обрабатываемой деталью на круглом столе, смонтированном на супорте, который имеет возможность перемещаться по направляющим. На этот супорт действует сила (от груза, пружины или поршня воздушного цилиндра) в направлении стрелки 2, что обуславливает прижим детали к фрезе, а копира — к ролику, ось которого установлена в кронштейне, привинченном к станине. К круглому столу снизу присоединено червячное колесо, сцепляющееся с червяком, при помощи которого столу передается вращательное движение. В данном случае ось ролика совпадает с осью фрезы. Если диаметр фрезы равен диаметру ролика, деталь получит контур, в точности соответствующий контуру



Фиг. 338. Фрезерование кулачков по копиру.
 1—фреза, 2—ролик, 3—шаблон.

копира. В противном случае получится равноотстоящая кривая. Если ось ролика сдвинуть (как показано в плане пунктиром), можно будет пользоваться увеличенным копиром (фиг. 338, б). Это даст возможность повысить точность обработки и, кроме того, позволит увеличить углы, образуемые радиусами-векторами с касательными к контуру копира.



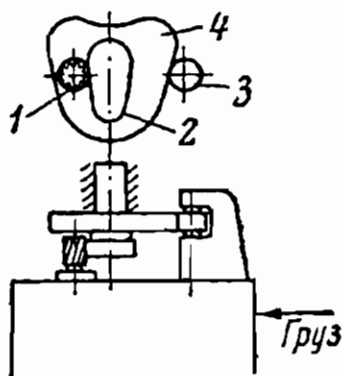
Фиг. 339. Приспособление для фрезерования кулачков на горизонтально-фрезерном станке

Последнее обстоятельство имеет весьма существенное значение, так как при малых углах работа делается тяжелой и появляются большие напряжения в частях станка. Обычно принято считать, что угол между касательной к контуру шаблона и радиусом-вектором должен быть не меньше 30° .

Приспособление, устроенное, в сущности, по той же схеме, что и на фиг. 338, но предназначенное для обработки кулачков на горизонтально-фрезерном станке, изображено на фиг. 339. При помощи универсального шарнира вращение передается червяку 1, сцепляющемуся с червячным колесом, насаженным на вал 3. Через кониче-

ские колеса 4 и 5 приводятся во вращение ось 6, на одном конце которой закреплена деталь, а на другом — копир 7.

Все устройство смонтировано на столе, могущем перемещаться в направляющих. Пружины 8 прижимают копир к ролику 9, установленному в неподвижном кронштейне.



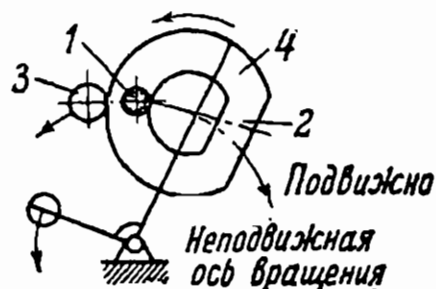
Фиг. 340. Схемы фрезерования по копиру. 1—фреза, 2—деталь, 3—ролик, 4—шаблон.

Другие схемы фрезерования по копиру показаны на фиг. 340—342. При работе по схеме, изображенной на фиг. 340, деталь и копир расположены между роликом и инструментом. В этом случае контур копира значительно отличается от контура детали. Подобное расположение следует применять для простых контуров.

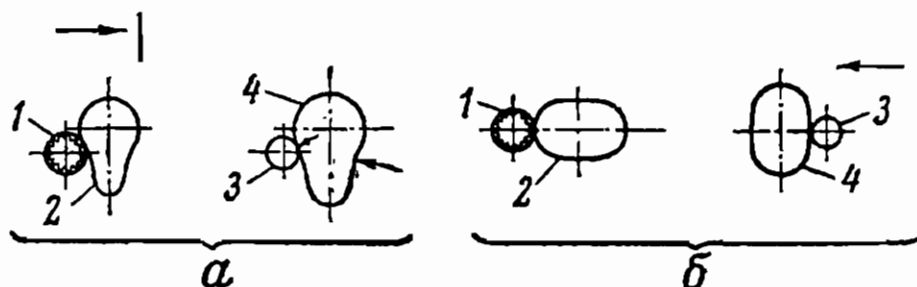
Схема, показанная на фиг. 341, соответствует в основном схеме фиг. 338, с той лишь разницей, что прямолинейные перемещения детали и копира заменены качающимися.

Схема, где деталь и копир установлены на двух параллельных осях, представлена на фиг. 342. Эти схемы осуществляются преимущественно на специальных вертикальных копировально-фрезерных станках.

Вопрос о возможности обработки кулачка путем фрезерования по копиру можно разрешить, лишь построив предварительно контур копира¹. Если у копира при намеченном способе фрезерования получаются слишком острые углы, следует либо увеличить расстояние между осями фрезы и ролика, либо изменить их диаметры, либо выбрать иную схему фрезерования. Если никаким способом не удастся избежать указанного недостатка, придется изменить контур детали или отказаться от фрезерования по копиру.



Фиг. 341.



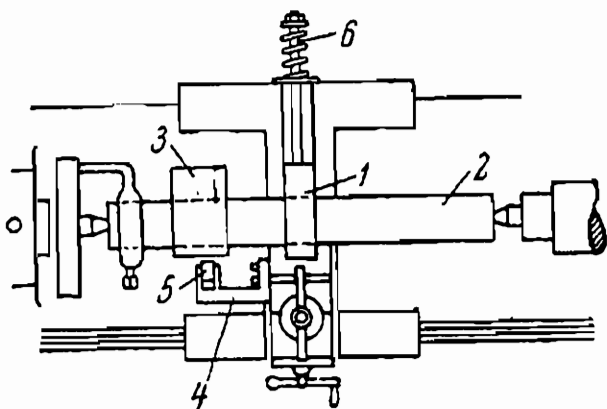
Фиг. 342.

Правильный контур у детали можно получить только в том случае, если действительные диаметры фрезы и ролика соответствуют расчетам (при построении контура шаблона). Отступления от этого (что

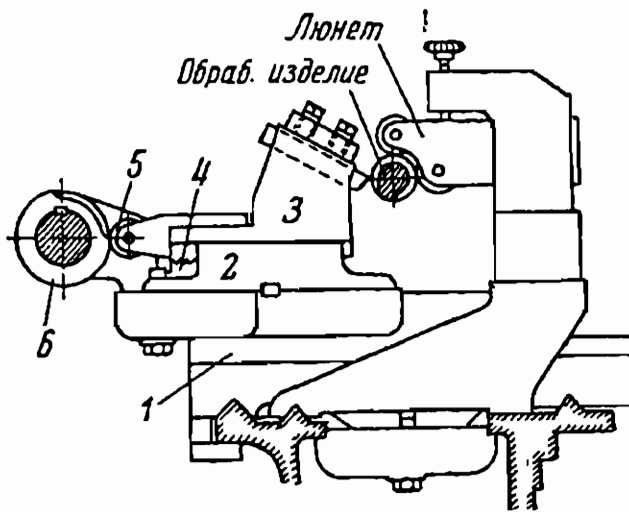
¹ О методах построения контура шаблонов см. М ю л л е р, Приспособления для холодной обработки металлов и И в а ш к е в и ч, Методика проектирования приспособлений.

довольно часто имеет место на практике) влекут за собою искажения контура детали принципиального характера.

Детали значительной длины удобнее обрабатывать по методу обтачивания при помощи вращающегося копира. Простейшая схема этого метода показана на фиг. 343. Деталь 1 и копир 3 насажены на оправку, установленную в центрах токарного станка. К супорту



Фиг. 343. Схема обтачивания кулачков по копиру.



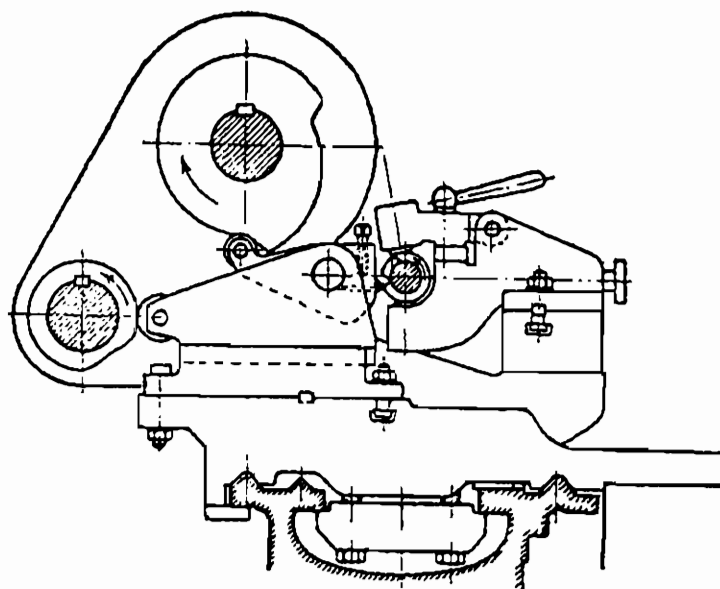
Фиг. 344.

могущему перемещаться в поперечном направлении, присоединен кронштейн 4 с роликом 5. Ролик к копиру и резец к детали прижимаются пружиной 6.

Иная схема обтачивания кулачков по копиру представлена на фиг. 344. Резец закреплен в супорте 3, имеющем возможность перемещаться в направляющих супорта 2, жестко закрепленного на станине. Копир 6 получает вращение от шпинделя станка через ряд зубчатых передач. Направление вращения и число оборотов детали и копира совпадают друг с другом.

Ролик 5, закрепленный на супорте 3, прижимается к копиру 6 пружиной 4.

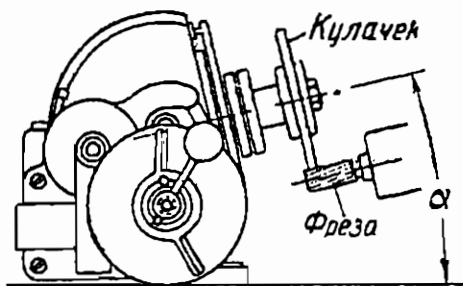
Обтачивание кулачков по копиру обладает тем недостатком, что угол резания все время изменяется. Чтобы устранить этот недостаток, иногда заставляют резец непрерывно поворачиваться в процессе работы с таким расчетом, чтобы угол резания сохранялся постоянным. Это, однако, значительно усложняет устройство, предназначенное для обтачивания по копиру (фиг. 345).



Фиг. 345.

Кулачки, имеющие контур по спирали, можно обработать на фрезерном станке при помощи делительной головки. В последнем случае стол подается и одновременно делительная головка получает вращение через перебор от винта подачи стола.

Здесь каждому шагу спирали соответствует определенный набор шестерен. Чтобы иметь возможность обрабатывать спирали со всевозможными шагами при ограниченном числе различных наборов шестерен, можно использовать способ, представленный на фиг. 346.



Фиг. 346.

Ось головки и ось фрезы установлены под углом α к направлению движения стола. Легко убедиться, что при этих условиях шаг спирали при данном наборе шестерен будет зависеть от угла α . Если оси головки и фрезы расположены горизонтально, то фреза будет обрабатывать окружность, т. е. спираль, шаг которой равен нулю.

Очевидно, что в положении, показанном на фиг. 346, будет обработана спираль, шаг которой меньше, чем шаг спирали при вертикальном положении осей, но больше нуля. Чем больше мы наклоним оси фрезы и головки, тем меньше получится шаг спирали. Нетрудно установить, что

$$H = a \sin \alpha,$$

где H — шаг спирали;

a — ход винтовой линии, для получения которой поставлен зубчатый перебор.

Таким образом, не меняя перебора, а лишь устанавливая наклон оси под соответствующим углом, мы можем обрабатывать спирали с различными шагами. Этот способ является особенно удобным в тех случаях, когда кулачок имеет несколько участков, отличающихся друг от друга по шагу спирали. По окончании фрезерования участка с одним подъемом спирали нужно отвести назад стол фрезерного станка и затем шпиндель делительной головки и ось фрезы повернуть в вертикальной плоскости на угол, определяемый из приведенного выше соотношения.

Детали с овальной наружной поверхностью, относимые нами по общности технологических задач к классу кулачков, можно обрабатывать по копиру любым из методов фрезерования или обтачивания.

В тех, однако, случаях, когда на предприятии приходится иметь дело с рядом деталей, различных по величине и степени овальности, причем количество одинаковых деталей невелико, более целесообразно применить универсальное устройство для обтачивания овальных поверхностей. Схема одного из подобных устройств показана на фиг. 347.

Это устройство состоит из прямоугольного ползуна 1, свободно перемещающегося по направляющим корпуса 2, навинчиваемого на шпиндель токарного станка. К ползуну 1 присоединены планки 3. К передней бабке станка эксцентрично по отношению к оси шпинделя

привинчивается деталь 4, имеющая плечи 5, позволяющие регулировать величину эксцентриситета. Обрабатываемая деталь закрепляется на ползуне 1 зажимным приспособлением.

При вращении шпинделя станка вращается корпус 2 и передает вращение ползуну 1 и обрабатываемой детали. Одновременно с этим ползун 1, а следовательно, и обрабатываемая деталь, совершают возвратно-поступательное движение в радиальном направлении. Деталь 4 устанавливается с таким расчетом, чтобы эксцентриситет был равен половине разности между большой и малой осями обрабатываемой поверхности.

Более совершенные типы устройств, предназначенных для той же цели, показаны на фиг. 348, а и 348, б. Конструкция обоих устройств принципиально одна и та же, с той лишь разницей, что у первого, приспособленного для более тяжелых работ, возвратно-поступательное движение имеет планшайба 1, у второго — ползун 2.

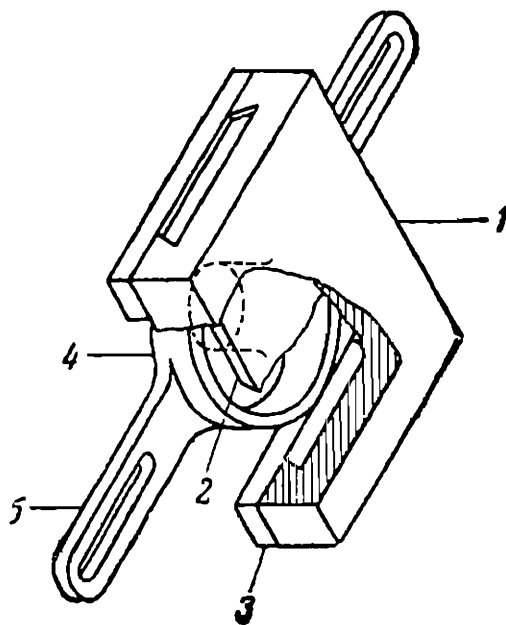
У устройства, показанного на фиг. 348, а, изделие закрепляется на планшайбе при помощи Т-образных канавок или непосредственно, или при помощи кулачного патрона. Планшайба скользит по направляющим корпуса, навинчиваемого на шпиндель станка. Возвратно-поступательное движение передается планшайбе при помощи головки 2, которая вращается по эксцентриковому кольцу 3 и скользит по направляющим в задней части планшайбы. Эксцентрик может перемещаться по направляющим кронштейна 4 при вращении маховичка 5. Кронштейн 4 присоединяется болтами к передней балке станка.

Эксцентрик устанавливается до начала работы на расстоянии от центра, равном половине разности между длинами наибольшей и наименьшей из осей обрабатываемого эллипса. После этого эксцентриковое кольцо закрепляют в нужном положении затяжкой винтов 6.

У устройства, показанного на фиг. 348, б, обрабатываемое изделие закрепляется на ползуне 2. Принцип работы, а равно назначение и обозначения прочих деталей, те же, что и у патрона, описанного выше.

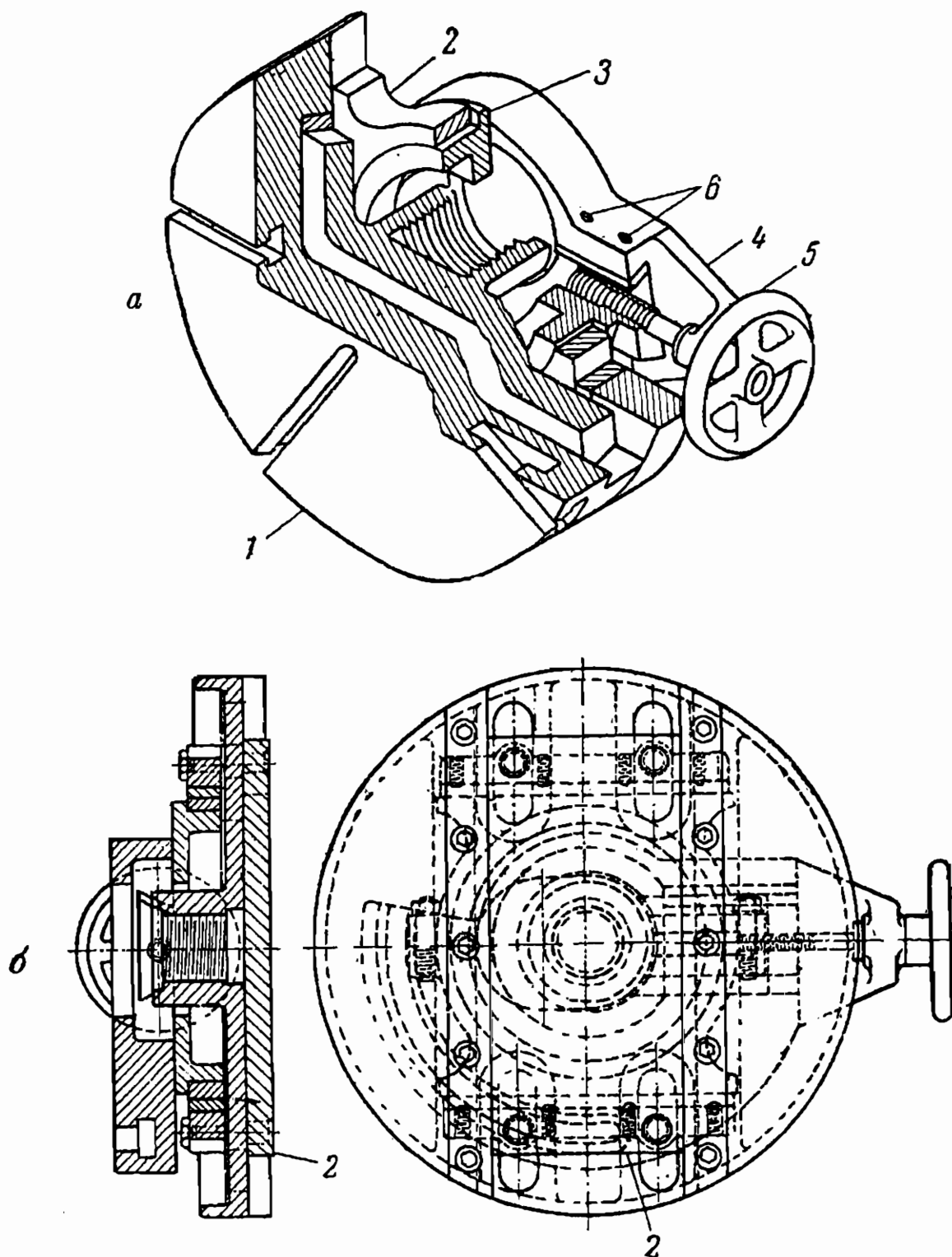
К классу кулачков мы можем также с известным допущением отнести и детали с наружной поверхностью правильной многоугольной формы. Такие поверхности обычно обрабатываются путем последовательного фрезерования или строгания граней.

Эту же задачу можно разрешить путем обтачивания при помощи различных методов и, в частности, при помощи вращающегося копира, т. е. метода, аналогичного методу обтачивания кулачков. Схема



Фиг. 347. Схема патрона для обтачивания овальных деталей.

одного из таких устройств показана на фиг. 349. Ползун 1 имеет возвратно-поступательное движение, управляемое кулачком 2. Резцедержка 3 устанавливается в направляющих ползуна 4. При помощи винта 5 можно подавать резец к изделию.



Фиг. 348. Патроны для обтачивания овальных деталей.

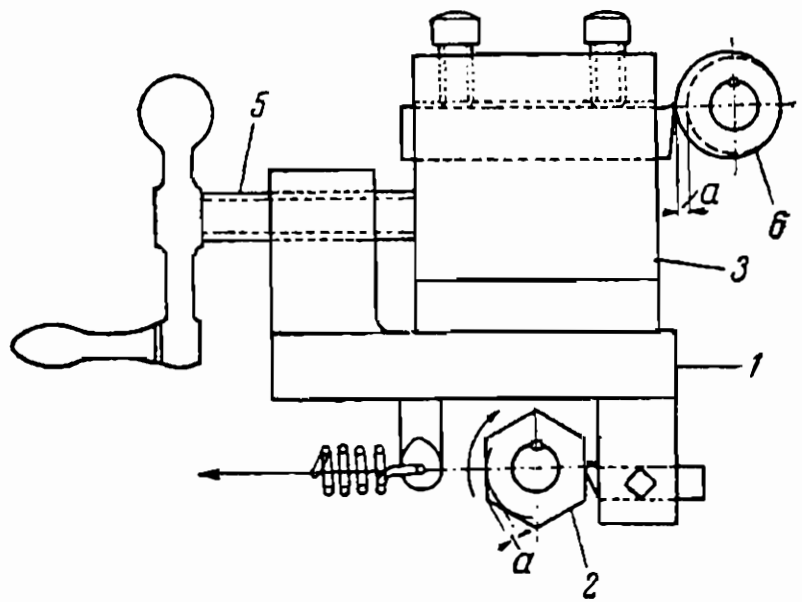
Соотношение между числом оборотов кулачка и шпинделя обуславливается соответствующей зубчатой передачей (на чертеже не показана).

В данном случае изделие делает шесть оборотов на один оборот кулачка. При этом обработанное изделие б приобретает форму, показанную на фигуре. Изделие с шестиугольным поперечным сече-

нием можно получить, если взаимно переместить кулачок 2 и заготовку 6. Одновременно придется изменить и соотношение между числами оборотов с тем, чтобы на один оборот шпинделя кулачок делал шесть оборотов.

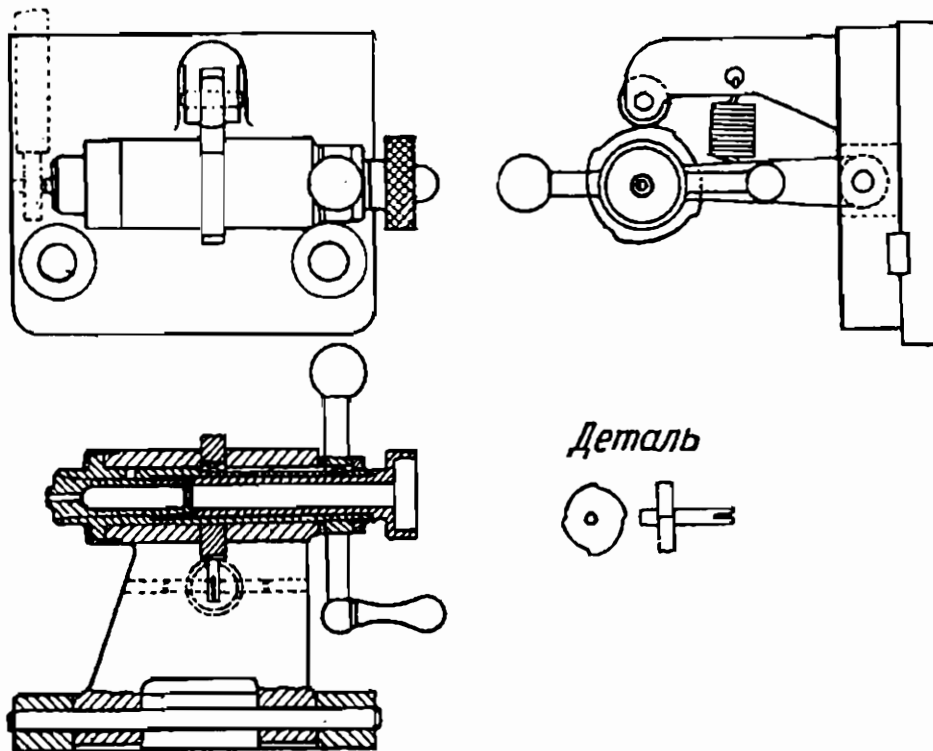
Разумеется, кулачок, являющийся копиром, можно изготовить и отдельно, причем профиль его определяется при помощи соответствующих расчетов¹.

Каленые кулачки, которые должны быть выполнены точно и иметь гладкую поверхность, после закалки шлифуются либо на специальных станках, либо при помощи соответствующих приспособлений копировального типа. Одно из таких приспособлений, предназначенное для шлифования маленьких кулачков, представлено на фиг. 350.



Фиг. 349. Схема обтачивания деталей многоугольной формы.

Одно из таких приспособлений, предназначенное для шлифования маленьких кулачков, представлено на фиг. 350.

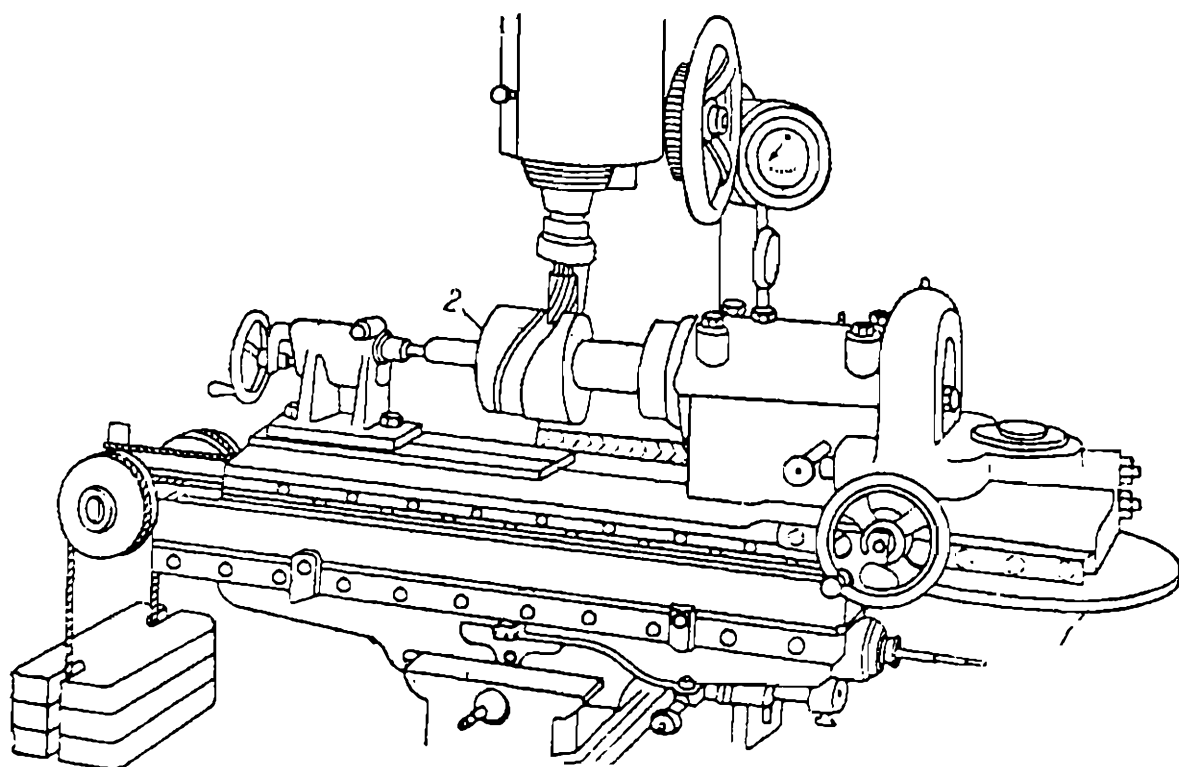


Фиг. 350. Приспособление для шлифования кулачков.

К классу кулачков мы относим также детали, имеющие криволинейные канавки на цилиндрических или торцевых поверхностях.

¹ Эти расчеты, разработанные автором, содержатся в конспекте его лекций за 1935 г., изданном Московским машиностроительным институтом повышения квалификации ИТР.

Обрабатывают цилиндрические кулачки с криволинейными канавками, обычно применяя копиры, по форме аналогичные обрабатываемым деталям. Можно обойтись и более дешевыми дисковыми копирами, воспользовавшись схемой, представленной на фиг. 351.



Фиг. 351. Фрезерование при помощи дискового копира.

1—копир, 2—деталь.

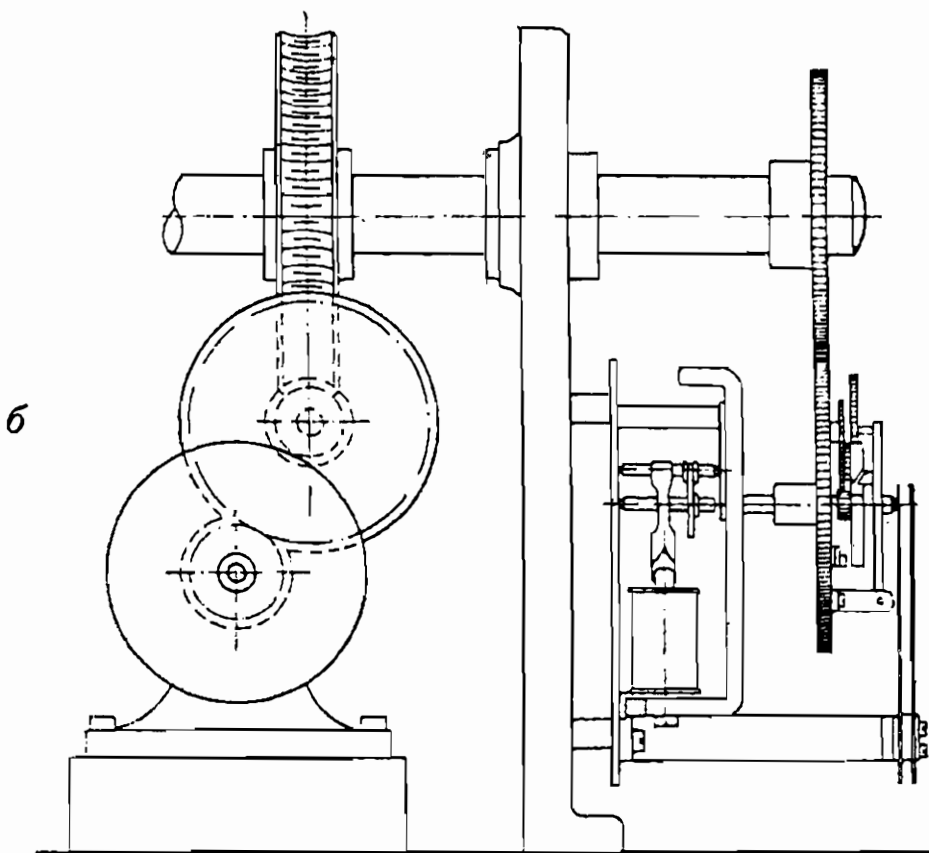
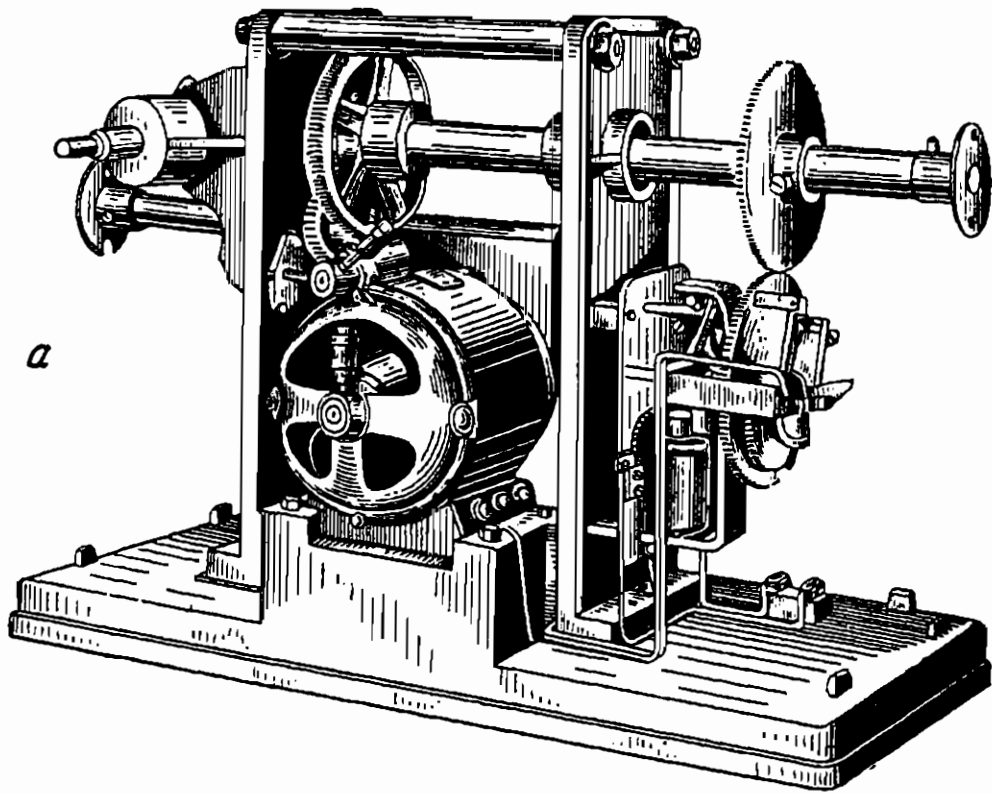
Криволинейные канавки на торцевых плоскостях обрабатываются фрезерованием по копиру концевой фрезой с диаметром, равным ширине канавки. Спиральные канавки можно получить при помощи делительной головки или на токарном станке с поперечным самоходом.

Г. Шестерни

Зубчатые колеса, типичные для точного приборостроения, в отличие от зубчатых колес, применяемых в машиностроении, обычно предназначаются для передачи незначительной мощности и весьма небольших усилий. У таких колес весьма редко рассчитывают зубья на прочность, так как зубья, даже минимальных размеров, требуемых по соображениям технического выполнения, в большинстве случаев дают многократный запас прочности.

Окружные скорости зубчатых передач в приборостроении обычно достигают лишь десятых долей скоростей зубчатых передач, применяемых в машиностроении. Зато в точном приборостроении применяются зубчатые передачи с весьма большими передаточными числами.

Вследствие изложенных причин зубчатые колеса, типичные для точного приборостроения, обладают следующими особенностями: 1) малым модулем (по нормам DIN от 0,3 до 1 мм, а для часового производства по нормам *Chambre Suisse de l'horlogerie* от 0,08 до



Фиг. 352. Установка башенных часов.
 а—внешний вид, б—схема.

0,5 мм); 2) весьма небольшим числом зубьев у малых шестерен (от 6 до 10 зубьев); 3) малой толщиной зубьев.

Кроме того, в силу специфических условий в точном приборостроении широко применяются зубчатые колеса с циклоидальным профилем.

Зубчатые колеса, типичные для точного приборостроения, преимущественно бывают двух основных видов: 1) шестерни, имеющие форму тонких плоских дисков; 2) шестерни-валики, называемые трибками¹.

Следует отметить, что в ряде приборов, нередко даже в одной и той же установке, наряду с зубчатыми колесами, типичными для точного приборостроения, встречаются и шестерни, приближающиеся по своему назначению, размерам и конфигурации к шестерням, применяемым в машиностроении. Примером может служить показанная на фиг. 352 установка башенных часов.

Ниже изложены основные принципы обработки шестерен в машиностроении, которые, поскольку это позволяет оборудование, могут быть использованы в точном приборостроении при изготовлении шестерен, приближающихся по своему назначению, размерам и конфигурации к шестерням, применяемым в машиностроении.

Основные принципы построения технологических процессов обработки шестерен в машиностроении

Обработка сырых шестерен

Технологический процесс обработки сырых шестерен можно разбить на два основных этапа: 1) обработка корпуса; 2) нарезание и отделка зубьев.

Основной технологической задачей процесса обработки корпуса является получение: 1) точного отверстия; 2) базового торца, строго перпендикулярного оси этого отверстия; 3) наружной цилиндрической поверхности, соосной с отверстием.

Эту технологическую задачу можно разрешить двумя различными методами.

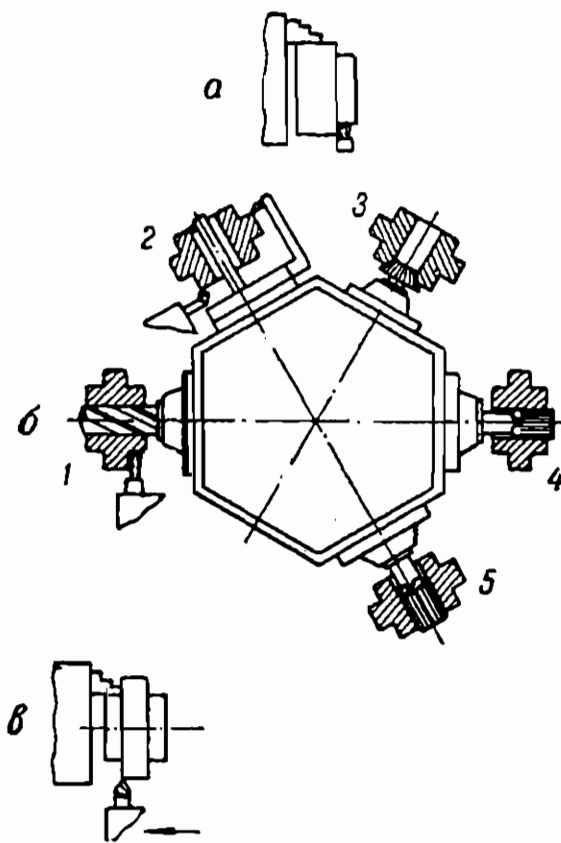
1. Обработка на револьверном станке или полуавтомате.

Точность взаимного расположения отверстия и базового торца достигается тем, что эти поверхности обрабатываются в одну установку. Наружная цилиндрическая поверхность также обрабатывается в одну установку с отверстием и базовым торцом, если конфигурация шестерни это допускает. В противном случае для обработки наружной цилиндрической поверхности деталь устанавливают на оправку. Требуемая точность обработки отверстия достигается развертыванием.

¹ Разумеется, в точном приборостроении встречаются шестерни самых различных конфигураций, но указанные два вида являются преобладающими.

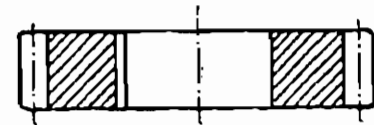
На фиг. 353 показан пример обработки на револьверном станке корпуса шестерни при отсутствии высоких требований в отношении точности.

2. Второй метод обработки корпуса заключается в том, что сначала сверлят и протягивают отверстие, затем обрабатывают торцы и наружную цилиндрическую поверхность на токарном, чаще всего на многорезцовом станке, причем деталь закрепляют на оправке, устанавливаемой в центрах. На фиг. 354 показан пример обработки по указанному методу корпуса плоской шестерни.

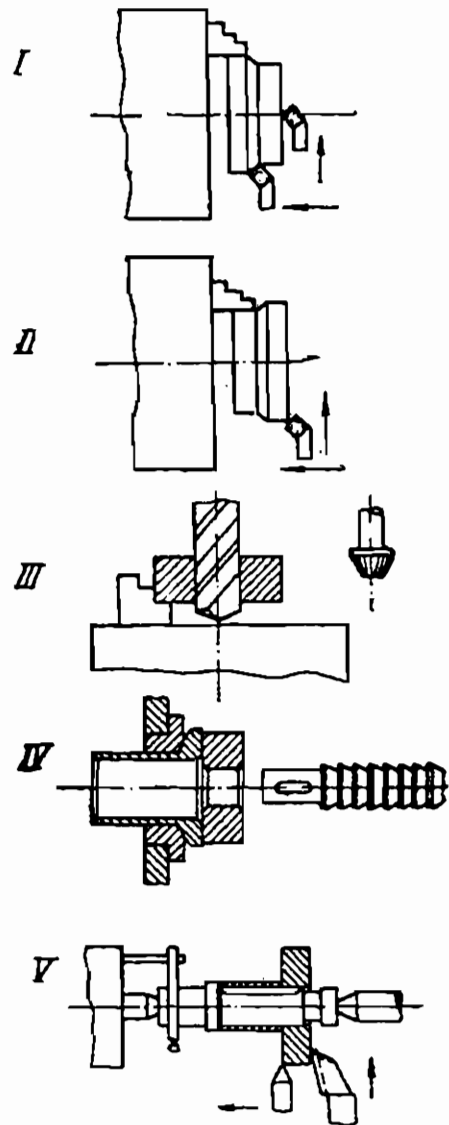


Фиг. 353. План обработки шестерни на револьверном станке.

а—вытачивание уступа и подрезание торца; *б*—план операции; *1*—сверление отверстия и вытачивание другого уступа; *2*—расточивание отверстия, предварительное обтачивание наружного диаметра, подрезание торца; *3*—снятие фаски; *4*—черновое развертывание отверстия; *5*—чистовое развертывание отверстия; *6*—чистовое обтачивание наружного диаметра.



Эскиз-перехода



Фиг. 354. План обработки плоской шестерни по методу, применяемому в автотракторной промышленности.

I. Обдирка до кулачков и черновое подрезание торца.
II. Обдирка и черновое подрезание второго торца.
III. Сверление отверстия и снятие фасок.
IV. Протягивание отверстия.
V. Чистовое обтачивание наружного диаметра и чистовое подрезание торца.

Из сопоставления указанных методов обработки корпуса шестерен можно вывести заключение, что второй метод, применяемый в автотракторной промышленности, является более совершенным,

чем первый. Получение точных отверстий протягиванием более надежно и значительно производительнее, чем развертывание (с учетом всех предварительных переходов) на revolverных станках. Обработка наружных поверхностей на многорезцовых токарных станках обычно производительнее и дешевле, чем на revolverных.

Несмотря на эти преимущества, в точном приборостроении указанный метод не находит широкого применения. Это объясняется следующими причинами. Приборостроительные заводы обычно не имеют ни протяжных, ни многорезцовых токарных станков. Приобретать же их специально для обработки шестерен в большинстве случаев нецелесообразно, так как шестерни, аналогичные применяемым в машиностроении, в точном приборостроении не производятся в больших количествах.

Кроме того, обработка на revolverных станках отверстия и базового торца за одну установку обеспечивает бóльшую, чем при установке на оправку, степень точности во взаимном расположении этих поверхностей при узких шестернях (длина отверстия меньше диаметра). Наконец, на revolverных станках и автоматах шестерни малых диаметров обрабатываются непосредственно из прутка.

Зубья нарезают двумя основными методами: червячной фрезой и долбяком Феллоу. Обычно предварительное нарезание выполняют червячной фрезой, а чистовое — долбяком Феллоу. При $t > 3$ мм целесообразно нарезать полностью путем долбления в два прохода.

Отделка зубьев шестерен, к которым предъявляются высокие требования в отношении точности и чистоты поверхности зуба, выполняется шевингованием.

Обработка каленых шестерен

Технологический процесс обработки каленых шестерен можно построить, исходя из двух принципов: 1) зубья не шлифуются¹; 2) зубья шлифуются. Часть технологического процесса, предшествующая калке, по своей схеме мало отличается от технологического процесса обработки сырых шестерен.

Часть технологического процесса обработки плоской шестерни, выполняемая после калки, показана в табл. 29.

С первого взгляда может показаться, что технологический процесс, основанный на шлифовании зубьев, мало отличается от технологического процесса, где шлифовка зубьев не предусматривается. На самом же деле между указанными технологическими процессами имеется весьма существенная разница принципиального характера.

При технологическом процессе, основанном на шлифовании зубьев, обработкой после калки устраняются все погрешности, происходящие при обработке до калки, а также искажения в процессе самой калки. Благодаря этому достигается более высокая степень точности и значительно упрощаются операции, предшеству-

¹ В тех случаях, когда к шестерням, зубья которых не шлифуются, предъявляются высокие требования в отношении точности, они подвергаются перед калкой шевингованию.

Зубья не шлифуются		Зубья шлифуются	
№ операции	Наименование	№ операции	Наименование
1	Шлифование отверстия и торца	1	Шлифование отверстия и торца
2	Шлифование 2-го торца	2	Шлифование 2-го торца
		3	Шлифование зубьев
3	Притирка зубьев	4	Притирка зубьев
4	Промывка	5	Промывка

ющие калке, так как необходимость соблюдения высокой степени точности отпадает.

Следует также отметить, что если зубья не шлифуются, то при шлифовании отверстия и торца деталь следует зажимать по начальной окружности специальными патронами, так как, зажимая по наружной окружности, мы можем получить недопустимый эксцентриситет между начальной окружностью и отверстием. Разумеется, этого эксцентриситета не приходится опасаться, если зубья подвергаются шлифованию, причем деталь устанавливается расшлифованным отверстием на оправку. При этих условиях при шлифовании отверстия и торца деталь можно зажимать более простым способом по наружной окружности.

С другой стороны, шлифование зубьев само по себе является малопроизводительной операцией, требующей высококвалифицированной рабочей силы и сложного оборудования, а следовательно и дорогой. Вопрос о том, нужно шлифовать зубья или нет, следует решать в каждом отдельном случае, исходя в первую очередь из требований, предъявляемых к зубчатой передаче в отношении точности.

Отделяются каленые шестерни обычно притиркой (lapping) после термообработки. Притирами являются шестерни (из специального материала), с которыми деталь находится в зацеплении под определенным давлением. Кроме вращательного, в про-

цессе притирки происходит обычно еще продольное скольжение зубьев обрабатываемой шестерни вдоль зубьев притирочных шестерен. В качестве абразива обычно применяются мелкий наждак с маслом. Различных способов притирки имеется много. От сопоставления этих способов мы, однако, считаем возможным воздержаться, так как в точном приборостроении они распространения не получили.

Следует также упомянуть о методе обкатки, которая производится до термической обработки и заключается в том, что шестерня обкатывается между тремя закаленными шестернями без абразивного порошка. Цель обкатки — получение гладкой поверхности путем наклепа. Обкатка значительного распространения не получила, так как она не уточняет профиль зуба, а в некоторых случаях может даже ухудшить его и, кроме того, создает напряжения на поверхности зубьев (вследствие наклепа)¹.

В зависимости от того, при помощи какого из методов получают зубья, технологические процессы изготовления шестерен, типичных для точного приборостроения, можно разбить на две категории: 1) основанные на методах без снятия стружки и 2) основанные на методах со снятием стружки.

Методы обработки шестерен без снятия стружки

Основными методами получения зубьев без снятия стружки являются: 1) холодное штампование; 2) литье под давлением; 3) волочение.

При применении литья под давлением или холодного штампования технологический процесс чрезвычайно упрощается, так как шестерни получаются либо в полностью законченном виде, либо нуждаются лишь в отдельных вспомогательных или отделочных операциях. При решении вопроса о целесообразности применения какого-либо из указанных методов в каждом конкретном случае следует исходить из общих соображений, изложенных в ч. I.

Холодное штампование шестерен из листового металла полностью, т. е. вместе с зубьями, будучи наиболее производительным из всех существующих методов получения шестерен, не всегда, однако, является экономичным.

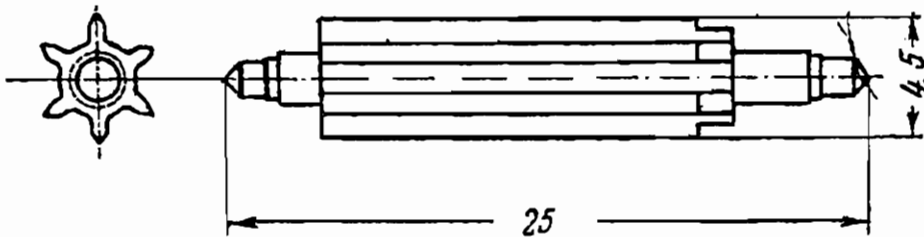
Для холодного штампования приходится применять комбинированные штампы. Расходы, связанные с изготовлением и восстановлением этих штампов, тем выше, чем мельче шаг и чем выше требования, предъявляемые к точности.

В качестве общего положения следует считать, что данный метод является рациональным лишь для изготов-

¹ За последнее время в американских и английских журналах («Machinist», «Machinery») рекламируется станок для обкатки небольших точных шестерен (диаметром до 100 мм, толщиной зуба до 13 мм и модулем до 1,5 мм), изготовленный фирмой Феллоу. По данным фирмы, производительность на этом станке достигает 300—600 шестерен в час.

ления тонких шестерен, имеющих форму плоских дисков, преимущественно из латуни при достаточно большом шаге ($m > 0,5$ мм) и при отсутствии высоких требований в отношении точности.

Литье под давлением в условиях массового производства является наиболее рациональным способом изготовления шестерен самых различных типов (цилиндрических с наружным и внутренним зацеплением, конических и т. п.), в особенности имеющих сложную конфигурацию. Этот метод применим, однако, лишь в тех случаях, когда конструктивные условия позволяют изготовить шестерню из сплава на цинковой или оловянной основе. Цинковый сплав (от 71 до 94% цинка) в большинстве случаев более пригоден, так как детали, отлитые из него, обладают поверхностной твердостью 80—105 кг/мм². Из цинкового сплава можно, однако, отливать шестерни, лишь начиная с $m = 0,5$ мм. По данным, приведенным в журнале «Feinmechanik und Präzision» за 1933 г., № 12, такие шестерни стоили от 2,4 до 6 пф. за штуку.



Фиг. 355.

Для шестерен с более мелкими шагами следует применять оловянные сплавы (от 25 до 81% Sn, от 8 до 56% Pb, от 13 до 15% Sb), так как эти сплавы лучше заполняют форму. Не следует, однако, забывать того, что детали из оловянных сплавов значительно мягче, чем из цинковых.

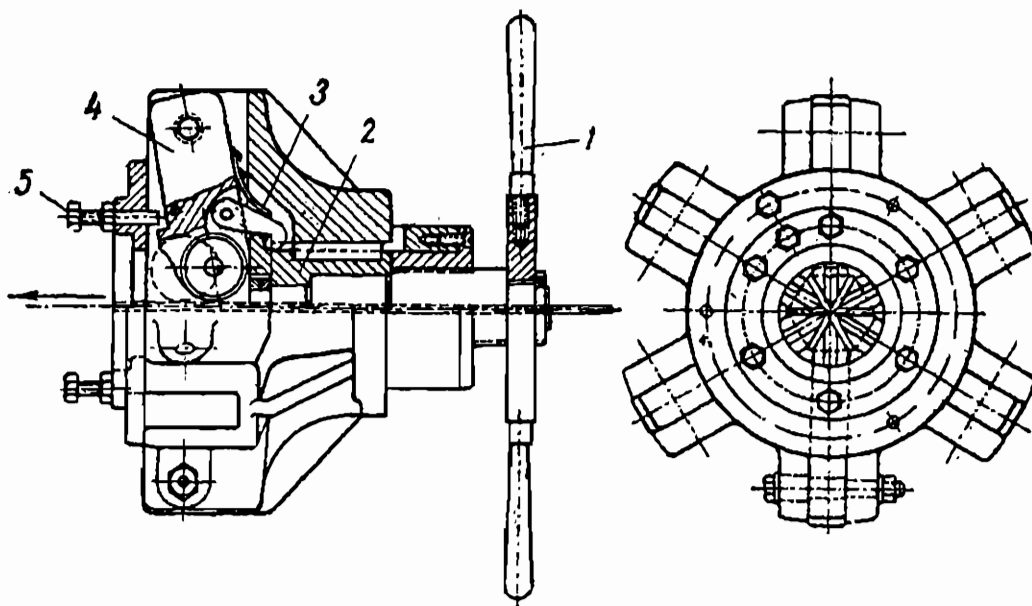
Волочение применяется главным образом при изготовлении трибок (будильников, спидометров, газометров, водомеров, счетных машин и т. п.), хотя может быть использовано и для изготовления шестерен малых диаметров.

При этом методе заготовка — круглая стальная или латунная проволока — протягивается сквозь отверстия волоочильной доски, вследствие чего приобретает профиль, соответствующий профилю трибки. Далее необходимо эту проволоку лишь разрезать на отрезки соответствующей длины и проточить концы (фиг. 355).

На фиг. 356 показано приспособление для волочения «трибстали», применяемое на 2-м часовом заводе. Здесь профиль получается путем волочения проволоки между шестью фасонными роликами.

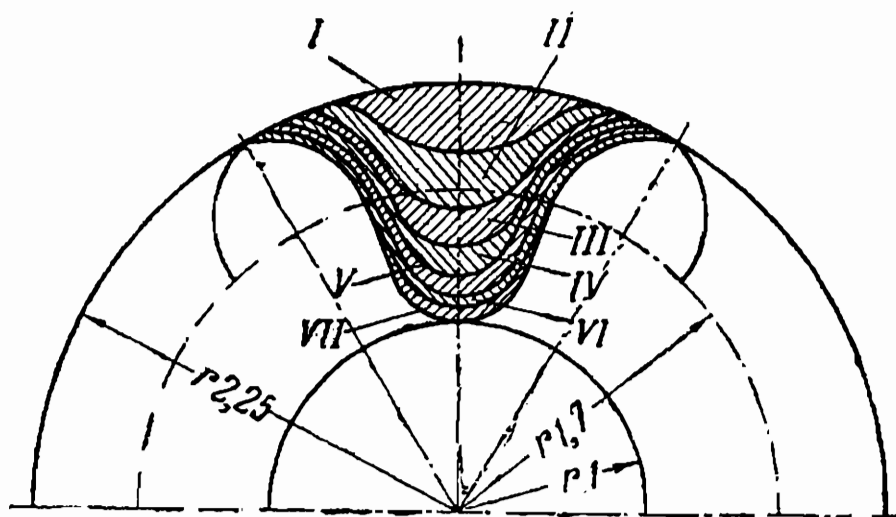
При заправке проволоки поворачивают рукоятку 1, вследствие чего втулка 2, перемещаясь вправо, зацепляет собачки 3. Благодаря этому рычаги 4 поворачиваются и ролики расходятся, освобождая проволоку. При вращении рукоятки 1 в обратную сторону втулка 2, нажимая на рычаги 4, заставляет ролики сойтись (как показано

пунктиром). Упорами служат винты 5. Для получения полного профиля проволоку приходится волочить последовательно семь раз через семь комплектов роликов различного профиля, как схематически показано на фиг. 357.



Фиг. 356. Приспособление для волочения «трибстали».

Прочие методы изготовления шестерен без снятия стружки—литье в землю, литье в постоянные формы и горячее штампование—распространения в точном приборостроении не получили, так как они не обеспечивают ни точности, ни надлежащего качества поверхности.



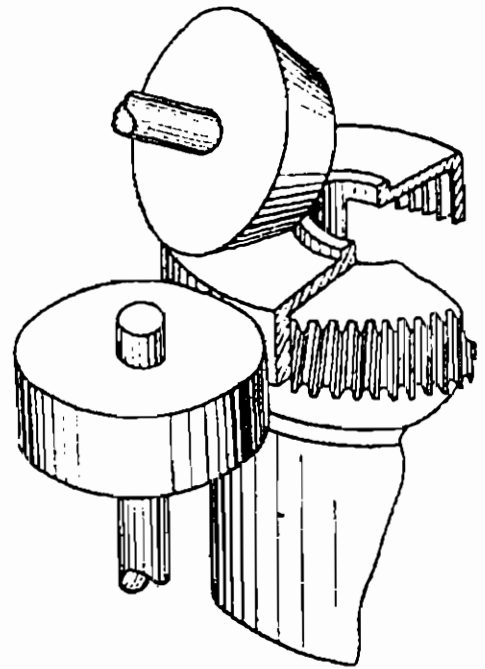
Фиг. 357. Схема вальцевания шестерен для внутреннего зацепления.

Следует упомянуть о малоизвестном методе вальцевания малых шестерен (с модулем 0,5—2 мм) для внутреннего зацепления¹. Изготовление таких шестерен обычными методами сопряжено с трудностями и обходится дорого.

¹ «Maschinenbau», 1936, Н. 19/20, S. 547.

При обработке зубьев по методу Феллоу необходимо предусмотреть между зубьями и дном шестерни зазор в 5—10 мм для выхода инструмента и отвода стружки. При маленьких шестернях вследствие этого зазора приходится значительно увеличивать размеры шестерни и, кроме того, создаются невыгодные условия для передачи усилия на вал. Если шестерня для внутреннего зацепления изготавливается путем литья в постоянные формы или горячего штампования, то без дальнейшей обработки в большинстве из применяемых в точном приборостроении передач она не может быть использована вследствие ее недостаточной точности.

Метод, показанный на фиг. 358, позволяет достичь высокой степени точности путем вальцевания шестерни для внутреннего зацепления по ее наружной поверхности.



Фиг. 358.

Изготовление шестерен и трибок методами обработки со снятием стружки

Сравнительная характеристика основных методов нарезания зубьев

Фрезерование является основным методом обработки зубьев цилиндрических шестерен в точном приборостроении. Из двух методов фрезерования зубьев — обкатывания червячной фрезой и копирования модульной фрезой — первый метод обладает рядом существенных преимуществ.

Основным из этих преимуществ является большая точность обработки.

Ниже рассмотрены основные различия принципиального характера, относящиеся к точности выполнения профиля и шага.

Теоретически для получения точного профиля зуба у шестерни при нарезании ее по методу копирования для каждого числа зубьев необходима особая фреза. На практике, однако, специальную фрезу для данного числа зубьев изготавливают лишь при производстве большого количества одинаковых шестерен. Обычно же пользуются наборами из 8 или 14 фрез, каждая из которых предназначена для нарезания шестерен с разными, в пределах соответствующего диапазона, числами зубьев (табл. 30).

Так как профиль фрезы изготавливается точно для наименьшего числа зубьев соответствующего диапазона, то при нарезании шестерен с другим числом зубьев искажается профиль зубьев у шестерен, что вызывает погрешности в работе зубчатой передачи. Одной из

№ фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
z	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135— ∞

наиболее существенных погрешностей является та, что постоянная угловая скорость ведущей шестерни преобразуется в переменную угловую скорость $\omega_2 + \Delta\omega_2$ ведомой. С каждым переходом зацепления с одной пары зубьев на другую происходит мгновенное увеличение скорости ведомой шестерни.

Если фрезой, изготовленной для нарезания шестерен с числом зубьев z , нарезают шестерню с числом зубьев $z + \Delta z$, то относительное увеличение скорости составляет:

$$\delta = \operatorname{tg} \alpha (\xi_1 + \xi_2) + \pi \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \frac{\xi_1 \xi_2}{\xi_1 + \xi_2},$$

где

$$\xi_1 = \frac{\Delta z_1}{z_1 + \Delta z_1} \cdot \frac{2\pi}{z_1} \quad \text{и} \quad \xi_2 = \frac{\Delta z_2}{z_2 + \Delta z_2} \cdot \frac{2\pi}{z_2},$$

α — угол наклона линии зацепления.

Последняя формула неприменима при малом числе зубьев, потому что возникающее при этом зацепление радиальных участков ножек дает большую ошибку.

Если нарезание шестерен производится набором из 8 фрез, то при наиболее неблагоприятных условиях переход точки зацепления с одной пары зубцов на другую сопровождается изменением скорости в среднем на 4%.

При нарезании червячной фрезой также происходит искажение профиля вследствие следующих причин.

Профиль червячных фрез в осевом сечении делается прямолинейным, соответствующим профилю основной рейки.

Как известно, фреза устанавливается по отношению к нарезаемой шестерне под углом β , равным углу наклона винтовой линии.

«Если же пересечь червячную фрезу плоскостью, составляющей этот угол β с осевой плоскостью, то зубцы будут иметь не прямолинейное очертание, а криволинейное, слегка вогнутое. Вследствие этого и линия зацепления будет не прямой, а кривой, обращенной вогнутостью к оси фрезы и касающейся той прямой линии зацепления, наклонной под углом $90^\circ - \alpha'$, которая обеспечила бы образование у зубцов точного профиля.

Поэтому профили головок и ножек у зубцов, нарезанных червячными фрезами, получают отклоняющимися от теоретического профиля внутрь зубца. При сцеплении двух нарезанных таким способом шестерен линии зацепления у них не совпадают и вследствие этого возникают неправильности в их работе. Величина мгновенного повышения скорости при переходе точки зацепления с од-

ной пары зубцов на другую зависит главным образом от угла подъема β средней винтовой линии червяка. При нормальном эвольвентном зацеплении с углом $\alpha = 15^\circ$ для углов подъема:

$$\beta = 5^\circ; 7^\circ; 10^\circ;$$

$$\delta = 0,2; 0,6; 1,6.$$

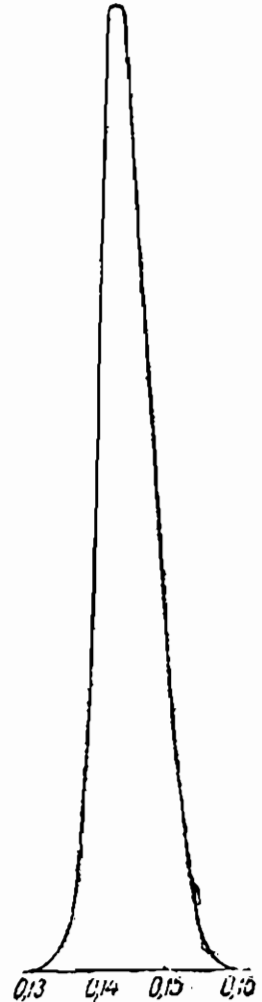
У червячных фрез угол β обычно колеблется около 5° . Неточность нарезанных ими зубцов получается чрезвычайно незначительной, всего $0,2\%$, т. е. такой же, как будто мы шестерню с 41 зубцом нарезали модульной фрезой, предназначенной для нарезания 40 зубцов»¹.

Следовательно, сознательно допускаемые погрешности профиля, связанные с изготовлением фрез, при методе обкатывания получаются значительно меньшими, чем при методе копирования (при применении набора фрез).

При нарезании шестерен методом обкатывания отсутствует основная причина, вызывающая угловую неточность деления при работе по методу копирования — неточность делительного механизма зуборезного станка. Угловая неточность деления при нарезании шестерен модульной фрезой на хороших станках составляет $1-2'$ и лишь в особых случаях снижается до $30''$. Угловая неточность шестерен, нарезаемых методом обкатывания, обычно не превышает $30-50''$. Следует также учитывать, что при обработке по методу копирования, вследствие накапливания погрешностей, последние нарезаемые зубья по толщине обычно резко отличаются от первых зубьев.

Ассистентом руководимой автором кафедры инж. С. В. Тарасовым была исследована точность, достигаемая на 1-м часовом заводе в нормальных производственных условиях при нарезании зубьев у анкерного триба и включающего колеса по методу копирования на станках «Петерман» и у баббанного колеса и секундомерного колеса — на полуавтоматах «Ламберт» и «Микрон» по методу обкатывания. На фиг. 359 показана кривая распределения размеров по толщине зуба у анкерного триба.

На основании своих исследований С. В. Тарасов пришел к выводу, что при нарезании по методу копирования на станках «Петерман» можно нормально выдерживать толщину зуба с допуском $0,02$ мм, а при нарезании методом обкатывания — $0,01$ мм на станках «Ламберт» и $0,005$ мм на станках «Микрон».



Фиг. 359. Кривая распределения размеров зуба по толщине при нарезании на автоматах «Петерман».

¹ Ш и б е л ь, Зубчатые колеса, Госмашметиздат, 1932.

Следует отметить, что ошибка по шагу оказывает значительно большее влияние на плавность передачи, чем ошибка по профилю. Если шаги двух сцепляющихся шестерен не равны, то это ведет к запазданию, или, наоборот, к опережению начала зацепления, т. е. к неравномерности вращения ведомой шестерни.

Хотя метод фрезерования зубьев червячной фрезой не устраняет всех трудностей производства точных шестерен, применение этого метода обеспечивает большую степень точности, чем метод нарезания зубьев модульной фрезой.

Более высокая производительность

При фрезеровании зубьев по методу копирования машинное время обработки одной шестерни за 1 проход определяется по формуле:

$$T'_M = \frac{B'z}{s_M k} + \frac{Bz}{s_{o.x} k} + \frac{\tau z}{k},$$

где B' — длина прохода фрезы, равная суммарной длине зубьев нарезаемых шестерен плюс врезание δ' ;

D — диаметр фрезы;

z — число зубьев нарезаемой шестерни;

s_M — подача в *мм/мин*;

$s_{o.x}$ — подача обратного хода в *мм/мин*;

τ — время деления на 1 зуб в мин.;

k — число шестерен, одновременно установленных на оправку (торцы шестерен соприкасаются).

Формулу для определения машинного времени при нарезании червячной фрезой можно вывести на основе следующих рассуждений.

Обозначим (дополнительно):

s — подача на 1 оборот нарезаемой шестерни в минуту;

n — число оборотов фрезы в минуту;

i — число заходов фрезы;

B'' — длина прохода, равная суммарной длине зубьев нарезаемых шестерен плюс врезание δ'' .

Если червячная фреза делает n оборотов в минуту, то нарезаемая шестерня сделает $\frac{ni}{z}$ оборотов в минуту.

Подача в минуту при этих условиях равняется:

$$\frac{sn i}{z},$$

а машинное время на одну шестерню

$$T'_M = \frac{B''z}{sn i k}$$

или, подставляя $n = \frac{1000 v}{\pi D}$, получим:

$$T'_M = \frac{B''z \pi D}{1000 s v i k} = \frac{B''z D}{318,5 v s i k}.$$

При фрезеровании червячной фрезой полностью отпадают потери времени на обратные холостые хода и на деления; однако условия для резания червячной фрезы менее благоприятны, чем для модульной.

Какой из методов — копирование или обкатывание — обеспечивает более высокую производительность, зависит от соотношения между минутной подачей при фрезеровании модульной фрезой, с одной стороны, и скоростью резания и подачей на оборот шестерни при фрезеровании червячной фрезой — с другой стороны.

Как видно из формулы, по которой определяется машинное время при фрезеровании по методу обкатывания, можно уменьшить это время, уменьшив диаметр фрезы или увеличив числа ее заходов. Однако, чем меньше диаметр фрезы и, следовательно, число продольных канавок, тем более мелкую подачу следует употребить, чтобы получить достаточно гладкий профиль зубца. Кроме того, чем меньше диаметр фрезы, тем более чувствителен будет профиль ее зубца и тем труднее ее точно изготовить. Таким образом решение вопроса о выборе диаметра червячной фрезы является компромиссом между этими взаимно противоречащими факторами.

Применение двухзаходных или трехзаходных фрез допускается лишь для черновых проходов, так как при этом существенно искажается профиль зубьев нарезаемой шестерни.

При сопоставлении производительностей при методах копирования и обкатывания приходится исходить из имеющихся эмпирических данных.

Допустим, например, что требуется нарезать зубья у партии латунных шестерен, причем модуль $m = 2$ мм, число зубьев $z = 30$, длина зуба $b = 4$ мм. На одну оправку надевается одновременно 10 деталей.

При определении машинного времени воспользуемся нормативами, разработанными комиссией по резанию металлов при техническом отделе НКМ и Гипромашем:

врезание $\delta' = 19,5$ мм;

подача в минуту $s_m = 759$ мм/мин;

длина прохода фрезы $B' = 4 \cdot 10 + 19,5 = 59,5$ мм.

Машинное время без учета времени на холостые хода и на деления

$$T'_m = \frac{59,5 \cdot 30}{759 \cdot 10} = 0,23 \text{ мин.}$$

Для нарезания червячной фрезой находим:

подача на 1 оборот нарезаемой шестерни $s = 4,19 \cdot 1,4 = 6$ мм/об;

скорость резания $v = 23 \cdot 1,49 = 34$ м/мин;

диаметр фрезы $D = 60$ мм;

врезание $\delta'' = 18$ мм.

Длина прохода фрезы

$$B'' = 40 + 18 = 58 \text{ мм.}$$

Машинное время

$$T''_m = \frac{58 \cdot 30 \cdot 60}{318,5 \cdot 34 \cdot 6 \cdot 10} \approx 0,16 \text{ мин.}$$

Таким образом, даже не учитывая неизбежных при нарезании зубьев методом копирования потерь времени на холостой ход и на деления, мы получили, что машинное время при указанном методе больше, чем при методе обкатывания.

Нами взят пример с модулем $m = 2$ мм ввиду отсутствия официальных нормативов применительно к более мелким модулям. При меньших модулях получатся соотношения, еще более благоприятные для нарезания по методу обкатывания. Учитывая же, что, чем меньше время, затрачиваемое на резание как таковое, тем больше удельный вес времени на холостые хода и деления, можно сделать вывод, что в точном приборостроении нарезание червячной фрезой — метод более производительный, чем нарезание модульной фрезой¹.

Меньшее количество инструментов

В противоположность методу копирования, где для каждого числа зубьев требуется особая фреза, при методе обкатывания одной и той же фрезой нарезают шестерни эвольвентного профиля с любым числом зубьев.

Метод обкатывания позволяет также корректировать форму зуба в широких пределах при употреблении одного и того же режущего инструмента, тогда как при методе копирования в каждом отдельном случае требуется особая фреза.

Вследствие отмеченных преимуществ метод фрезерования зубьев червячной фрезой получил в точном приборостроении столь большое распространение, что метод фрезерования модульной фрезой применяется лишь в отдельных случаях в основном для нарезания шестерен с малым числом зубьев и с циклоидальным профилем.

В точном приборостроении часто встречаются передачи, у которых малые шестерни (или трибки) имеют лишь 6—10 зубьев. При фрезеровании методом обкатывания шестерен со столь малым числом зубьев происходит подрезание зубьев, вызывающее недопустимое уменьшение продолжительности зацепления².

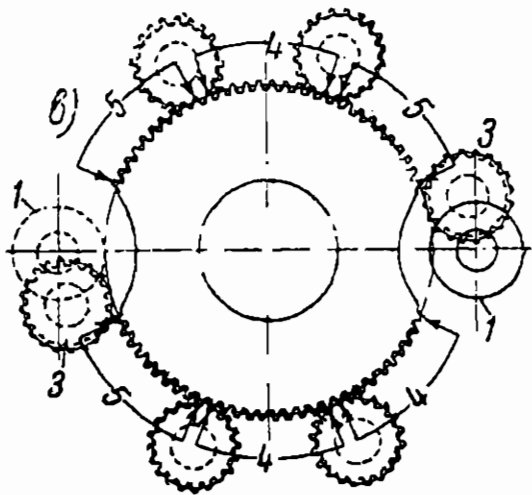
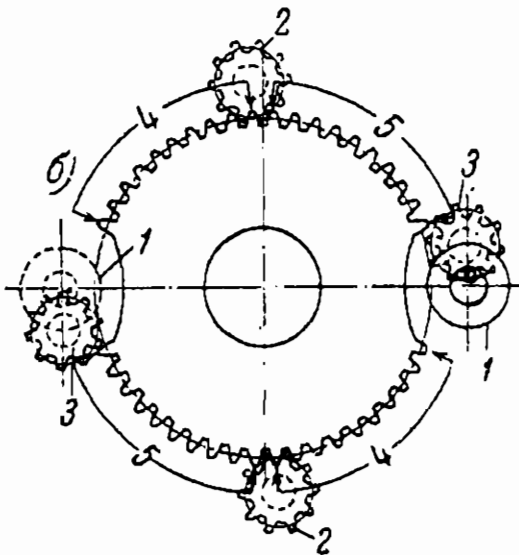
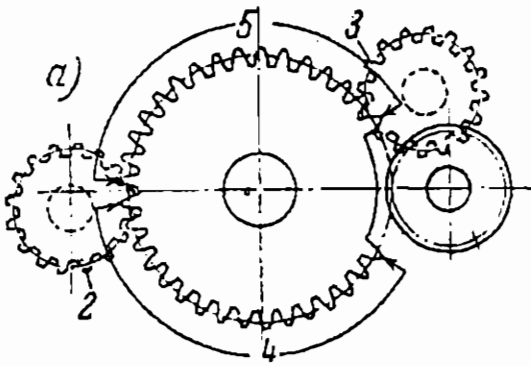
При фрезеровании зубьев модульной фрезой указанное явление не имеет места, вследствие чего шестерни и трибки с числом зубьев $z \leq 14$ нарезают методом копирования модульной фрезой.

Шестерни с циклоидальным и похожим на него профилем применяют в точном приборостроении для получения передачи с возможно меньшим числом зубьев, но с достаточной продолжительностью зацепления. Зубья у этих шестерен обычно фрезеруются также модульной фрезой, что объясняется следующими причинами. Форма зуба у циклоидальных шестерен зависит не только от собст-

¹ Обратные соотношения могут получиться при нарезании не применяемых в точном приборостроении крупных шестерен с большими модулями.

² Следует отметить, что методом обкатывания можно обрабатывать шестерни, не подрезая зубьев, даже в случае шестерен с небольшим числом зубьев (например с 8 зубьями). Но эти шестерни могут быть выполнены уже не с нормальным зацеплением, а лишь с фау-зацеплением.

венного числа зубьев, но и от числа зубьев совместно работающей шестерни. Вследствие этого в случае нарезания шестерен с циклоидальным профилем зубьев методом обкатывания для каждого числа зубьев приходится изготовлять отдельную фрезу, и следовательно, теряется одно из основных преимуществ указанного метода. Кроме того, изготовление червячной фрезы для нарезания зубьев циклоидальной формы вследствие сложного очертания профиля зуба фрезы сложно и обходится дорого.



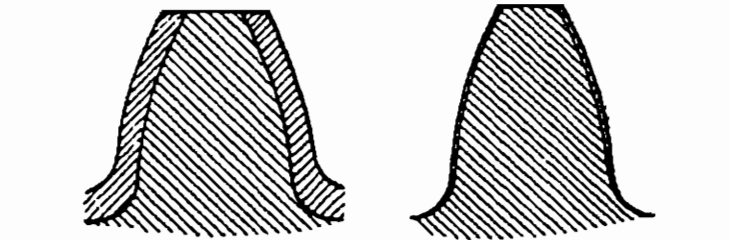
Фиг. 360. Схемы нарезания зубьев по методу Феллоу.

1—заготовка, 2—шестерня с предварительно нарезанными зубьями, 3—шестерня с окончательно нарезанными зубьями, 4—зубья для предварительной обработки, 5—зубья для окончательной обработки.

тогда основная часть припуска снимается рядом обдирочных зубьев долбяка, а чистовая обработка выполняется отдельным рядом зубьев.

Следует, однако, отметить, что указанные недостатки, являющиеся весьма существенными в условиях серийного производства, не имеют

столь актуального значения для предприятий массового типа. В последнее время на таких предприятиях, как часовые заводы, переходят к нарезанию зубьев с циклоидальным профилем методом обкатывания червячной фрезой.



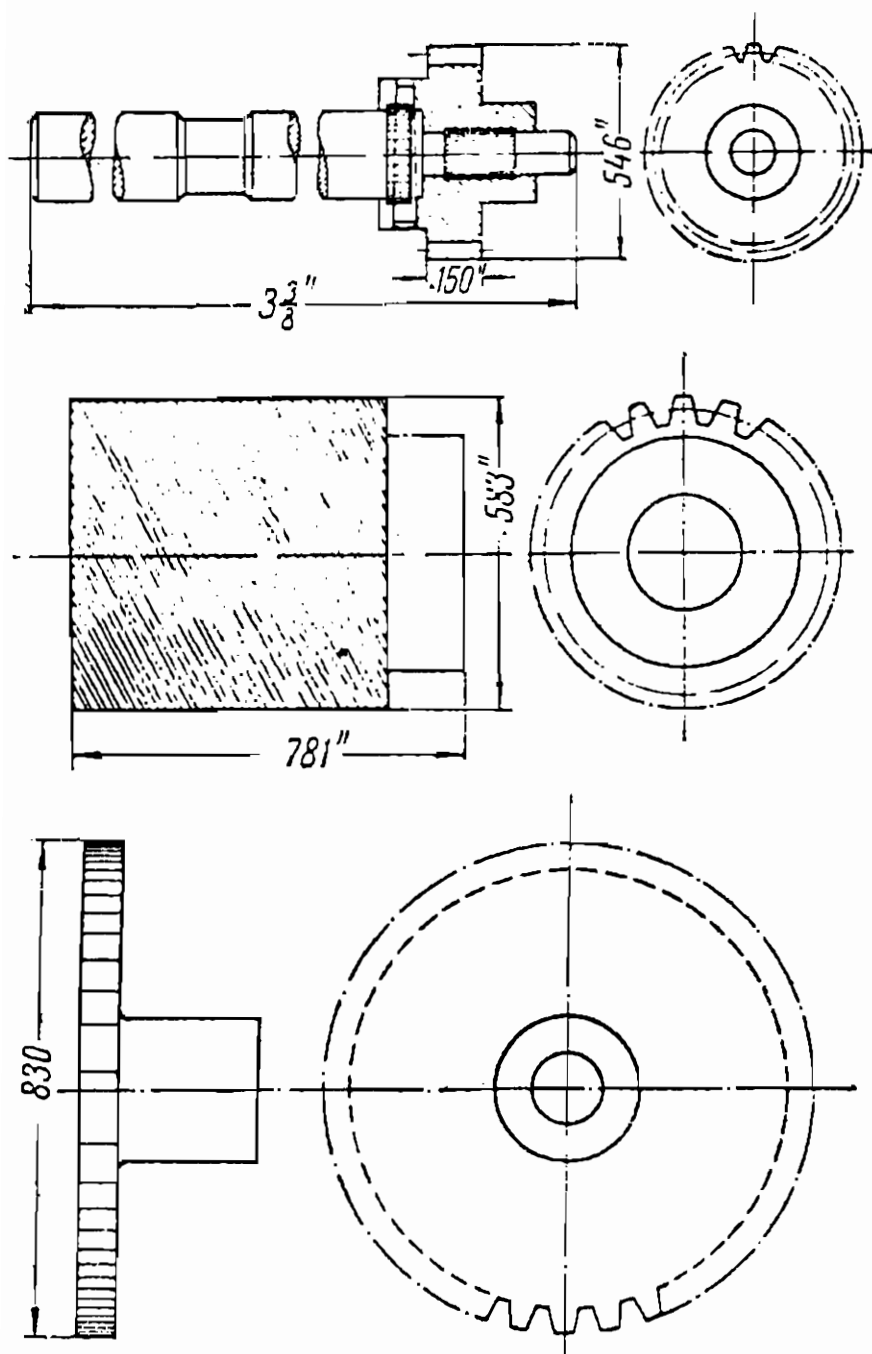
а б

Фиг. 361.

Строгание зубьев по методу Феллоу на наших приборостроительных предприятиях не применяется. Соображения и практические примеры, приведенные в журнале «Machinery N. V.» за 1937 г., № 9, позволяют думать, что метод Феллоу может оказаться вполне рациональным и при изготовлении типичных для приборостроения шестерен с малыми диаметрами и мелкими шагами. При применении этого метода

Основная часть припуска снимается рядом обдирочных зубьев долбяка, а чистовая обработка выполняется отдельным рядом зубьев.

Нарезание зубьев у мелких шестерен по методу Феллоу схематически показано на фиг. 360. Для большей ясности заготовка условно изображена, как имеющая планетарное движение вокруг долбяка. Долбяк, показанный на фиг. 360, а, имеет один ряд обдирочных зубьев и один ряд чистовых. На фиг. 360, б представлен долбяк, предназначенный для одновременного нарезания зубьев у двух шестерен. В ряде случаев бывает целесообразно разделить процесс нарезания между тремя рядами зубьев долбяка. Это особенно желательно при очень узких допусках и при изготовлении шестерен из мягких металлов, например из латуни. Долбяк для такой работы, представленный на фиг. 360, в, разделен двумя выемками на две части, каждая из которых имеет два ряда обдирочных и один ряд чистовых зубьев.



Фиг. 362.

Описанный метод обладает следующими основными достоинствами. Зубья шестерни нарезаются на полную глубину в процессе обдирки, зубья же долбяка, предназначенные для чистовой обработки, снимают лишь незначительную стружку по бокам зубьев шестерни.

На фиг. 361 дано сравнение припусков на чистовую обработку при двух методах: а — зубья обрабатываются с двух проходов модульной фрезой, б — зубья обрабатываются долбяком Феллоу. Вследствие незначительной толщины чистовой стружки при применении методов Феллоу достигаются высокая стойкость долбяка и высокая степень точности обработки. Другое существенное в отношении точности обработки преимущество заключается в том, что в продолжение всего процесса нарезания зубьев (как обдирки, так и чистовой обработки) взаимное расположение долбяка и детали остается неизменным.

В экономическом отношении преимуществами метода Феллоу являются высокая стойкость инструмента и высокая производительность, а следовательно, и низкая стоимость обработки.

На фиг. 362 показан ряд типичных для точного приборостроения шестерен, обработка которых долбяком Феллоу, по утверждению автора упомянутой статьи в «*Machinery*», оказалась наиболее рациональной.

Прочие методы обработки зубьев резанием — строгание профильным резцом, по шаблону или обкатыванием, а также метод Маага — наиболее пригодны для обработки шестерен крупных размеров, вследствие чего в точном приборостроении не применяются. Также не применяется и протягивание, хотя при массовом производстве и тщательном выполнении протяжек этот метод может оказаться весьма эффективным.

Отделка зубьев

В точном приборостроении существенное значение имеет то обстоятельство, что в зубчатых передачах легко расстраивается ход из-за шероховатости и ошибок в профилировании боковых поверхностей зубьев, если крутящий момент, приводящий колеса в движение, относительно лишь немногим превосходит противодействующий ему момент сил трения в передаче. Ни один из рассмотренных выше методов получения зубьев шестерен и трибок не обеспечивает надлежащего качества поверхности и точности профиля, вследствие чего их приходится подвергать специальным отделочным операциям.

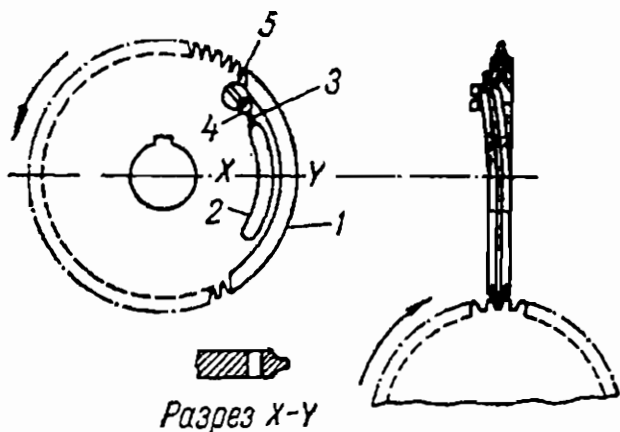
Методы отделки зубьев, применяемые в машиностроении, в точном приборостроении, где в основном применяются шестерни с мелкими модулями, зачастую изготавливаемые из мягких металлов, в большинстве случаев экономически нецелесообразны или даже просто непригодны (в частности, непригоден метод шлифования зубьев при $m < 2$ мм). Хотя шевингование и является принципиально возможным при модуле 0,5 мм и даже меньше, но распространения в точном приборостроении этот метод не получил и станков для шевинг-процесса на предприятиях точного приборостроения обычно не имеется.

Зубья шестерен, типичных для приборостроения, отделяются двумя основными методами: 1) фрезой, называемой арондиром; 2) притиркой.

При первом методе отделки применяется мелкозубая фреза с профилем зуба, в точности соответствующим профилю впадин обрабатываемой шестерни. Зубья у фрезы имеются лишь на части окружности. При фрезе малых размеров (фиг. 363) часть 1, не имеющая зубьев, остается сырой, имеет широкий шлиц 2, узкий шлиц 3 и отверстие 4. Конец ненарезанной части отгибается, причем расстояние при помощи винта 5 устанавливается в соответствии с шагом.

При более крупных фрезе ненарезанная часть изготавливается отдельно от фрезы и соединяется с ней винтами. Отделка зубьев

выполняется на специальном станке, причем фреза точно устанавливается по отношению к детали, закрепляемой в центрах. Каждый зуб отделяется за один поворот фрезы. К концу оборота фрезы выступающая часть, действующая как одноконтурный червяк, поворачивает шестерню на один зуб.



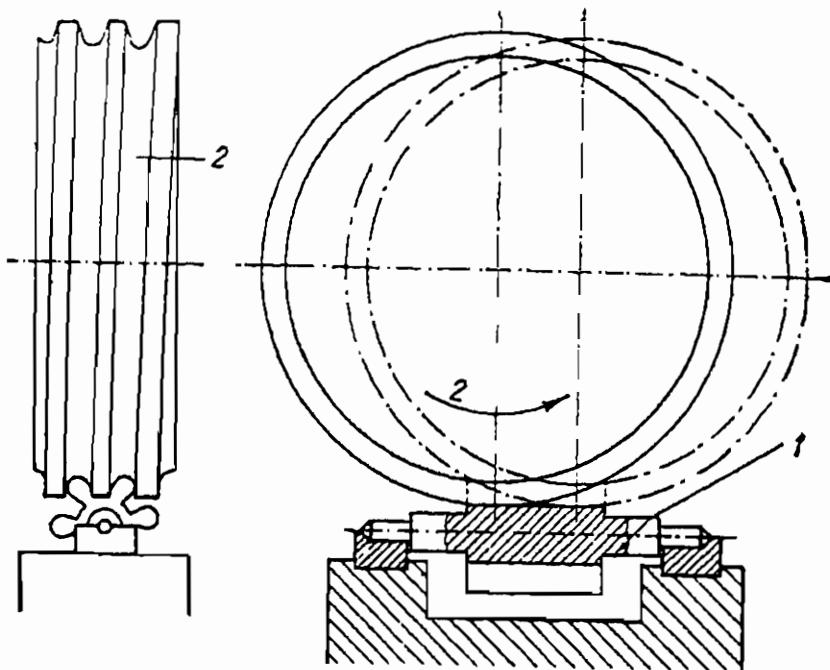
Фиг. 363. Фреза для отделки зубьев.

При отделке зубьев этим методом на автоматическом станке фирмы Морат производительность за 10 час. работы равна 2000 латунных шестерен с 72 зубьями диаметром 41 мм и толщиной 1,8 мм или 3200 латунных шестерен с 40 зубьями диаметром 22,5 мм и толщиной 0,7 мм.

Метод притирки особенно пригоден для отделки маленьких шестерен и трибок, подвергающихся термообработке. Деталь 1 устанавливается в центрах (непосредственно или на оправке) и может свободно вращаться (фиг. 364).

Притиром служит диск 2 из мягкого свинцового сплава или твердого дерева. На цилиндрической поверхности этого диска имеется нарезка, соответствующая профилю зубьев обрабатываемой шестерни. Диск вращается со скоростью около 15 м/сек и приводит во вращение деталь (получается как бы червячное зацепление).

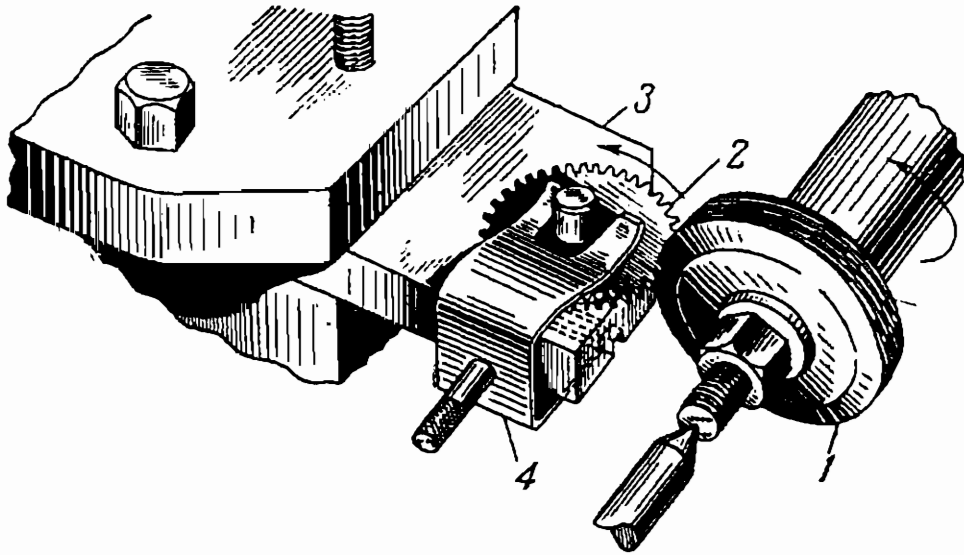
Одновременно деталь совершает возвратно-поступательное движение со скоростью 130—200 ходов в минуту. В качестве абразива применяется венская известь. Диск прижимается к детали под действием собственного веса. Для ограничения углубления диска в деталь имеется упор. Головка, несущая диск, имеет возможность поворачиваться, что позволяет притирать шестерни с косыми зубьями.



Фиг. 364. Схема притирки зубьев.

На фиг. 365 показано также простое устройство для притирки маленьких шестерен, устанавливаемое на токарном станке. Притираемая шестерня 2 надевается на ось, закрепляемую в державке 3, закрепленной на супорте. Шестерня удерживается плоской пружиной 4.

Диск для притирки 1, имеющий винтовую нарезку, соответствующую притираемой шестерне, закрепляется в шпинделе станка.



Фиг. 365.

П о р я д о к о п е р а ц и и

Технологический процесс обработки шестерен, типичных для точного приборостроения, можно строить по той же схеме, что и в машиностроении, т. е. сначала получить точное отверстие и торец, ему перпендикулярный, а затем нарезать зубья, ориентируясь по этому отверстию и торцу.

В качестве примера приведем описанный в журнале «*Werkstats Technik*» за 1937 г., № 3 технологический процесс обработки шестерни теплоизмерительного прибора.

Операция 1. Разрезать листовое железо на полосы.

Операция 2. Зачистить полосы.

Операция 3. Рихтовать полосу. Эту операцию следует выполнять от руки на плите.

Операция 4. Вырубить шайбу штампом.

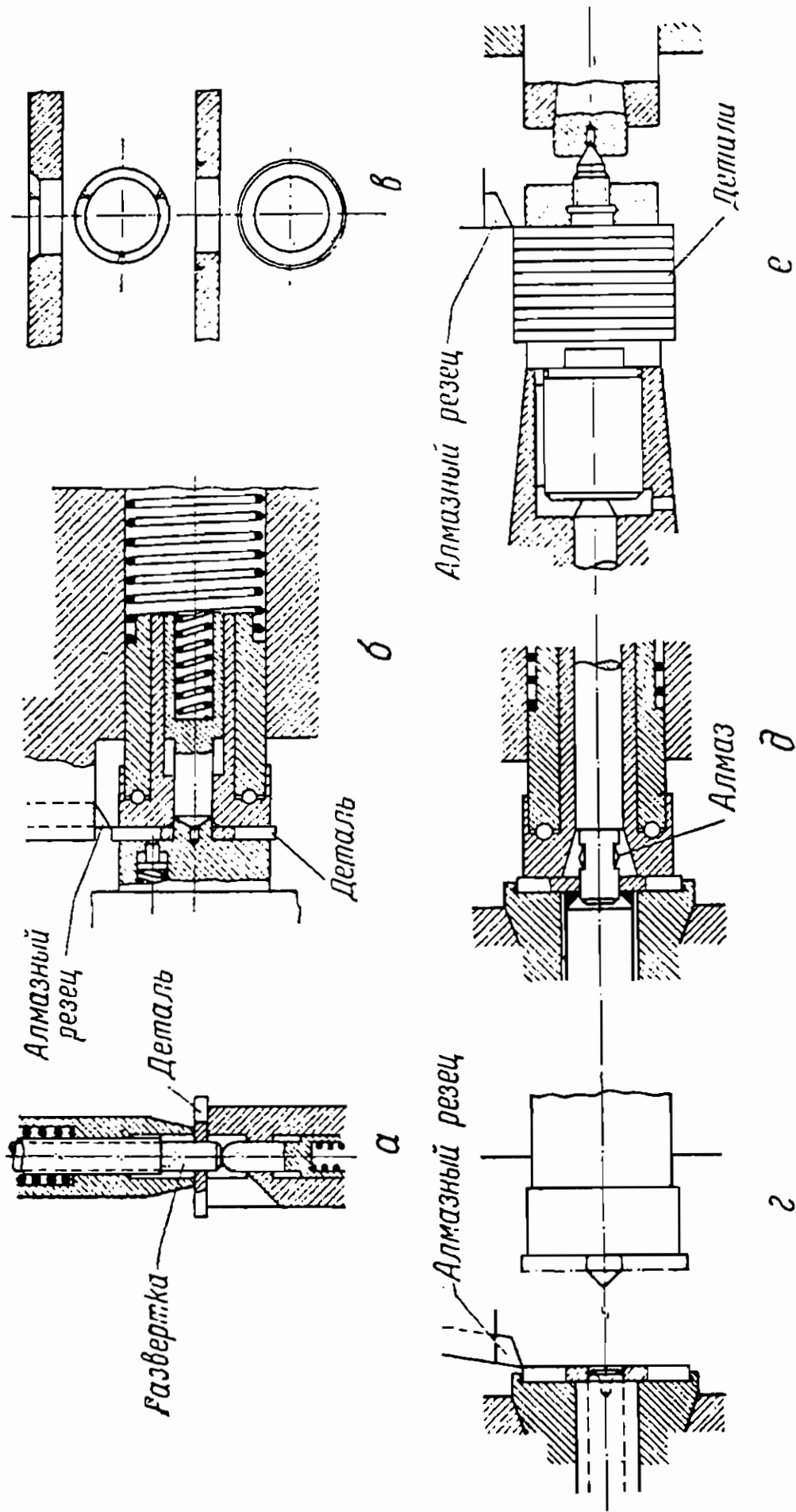
Операция 5. Развернуть центральное отверстие (фиг. 366, а). Данная операция является предварительной, и окончательный размер отверстия еще не получается.

Операция 6. Обточить шайбу снаружи (фиг. 366, б). Так как данная операция также является предварительной, то при обтачивании оставляют припуск 0,2 мм.

Операция 7. Выдавить три треугольные засечки (фиг. 366, в). Это делается для того, чтобы при насаживании на трибку материал трибки впредсоединился в эти засечки, что предохранит соединяемые детали от бокового смещения.

Операция 8. Снова править (эта операция не всегда нужна).

Операция 9. Обточить торцевые плоскости (фиг. 366, г). Данную операцию осуществляют часто на наждачной ленте. Это, однако, неправильно, так как при таком способе невозможно обеспечить параллельность плоскостей и, кроме того, тонкие детали недопустимо нагреваются.



Фиг. 366.

Операция 10. Расточить отверстие алмазным резцом (фиг. 366, *д*).

Операция 11. Окончательно обточить шайбы снаружи алмазным резцом (фиг. 366, *е*).

При этой операции деталь надевается на оправку. Важно, чтобы детали остались на этой же оправке также при фрезеровании и при отделке зубьев.

Операция 12. Фрезеровать зубья.

Операция 13. Притереть зубья при помощи деревянного диска и наждачной пыли с маслом.

Операция 14. Полировать зубья тем же методом при помощи липового диска.

Описанный технологический процесс, как уже было указано, принципиально не отличается от технологических процессов обработки шестерен в машиностроении. В ряде отраслей точного приборостроения, в первую очередь в часовом производстве, применяются технологические процессы, где порядок операций является как бы обратным порядком операций в машиностроении: сначала получают заготовку путем штампования из листового металла¹, или вытачивания из прутка, затем нарезают зубья и лишь после этого окончательно обрабатывают центральное отверстие, причем в процессе выполнения этой операции деталь ориентируют по наружной окружности. Такое построение технологического процесса возможно потому, что при нарезании зубьев фреза не только выбирает впадину между зубьями, но и обрабатывает верхний торец зубьев. Благодаря этому независимо от предыдущей обработки все шестерни получают одинакового диаметра и, кроме того, обеспечивается концентричность наружной окружности с начальной. Следовательно, ориентируя деталь при окончательной обработке отверстия по наружной окружности, мы тем самым достигаем концентричности отверстия с начальной окружностью.

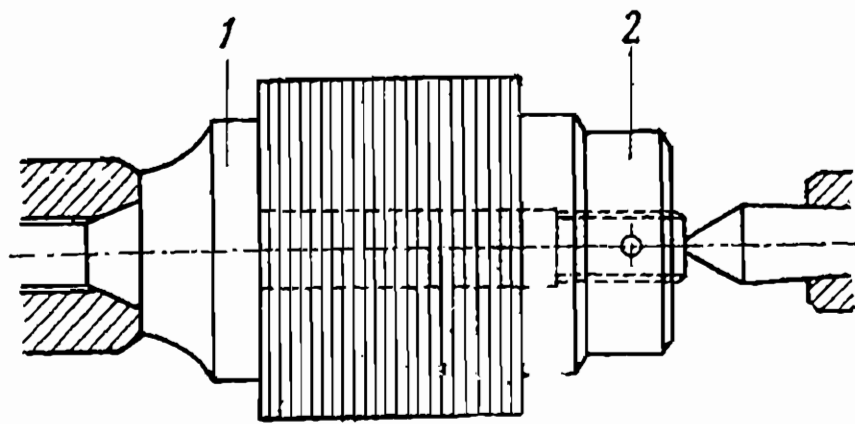
Общая схема обработки шестерен, имеющих форму плоских дисков, заключается в следующем:

Операция 1. Штампование из листового металла. Эта операция для уравнивания колеса на оси и симметричного расположения всех просекаемых площадей относительно центра колеса выполняется обычно штампами типа «Компаунд», вырубаящих деталь за один удар.

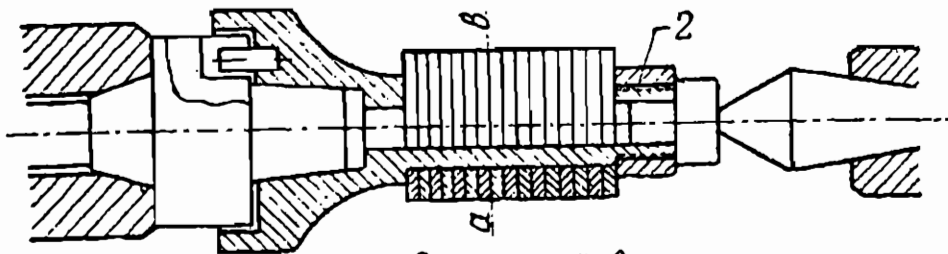
Операция 2. Фрезерование зубьев. При фрезеровании зубьев на оправке, закрепляемой в центрах или цанге зуборезного станка, устанавливают по нескольку деталей одновременно. Метод установки деталей на оправке зависит от размеров центрального отверстия. Если диаметр центрального отверстия достаточно велик, применяется обычная цилиндрическая оправка, показанная на фиг. 367, *а*. Детали надеваются центральным отверстием на цилиндрический стержень, прижимаются к заплечику 1 и зажимаются гайкой 2.

В тех случаях, когда диаметр центрального отверстия мал, вследствие чего оправка получилась бы недостаточно прочной, или же

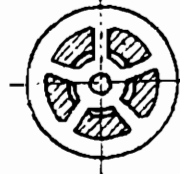
¹ С последующей механической обработкой, если это требуется конфигурацией детали.



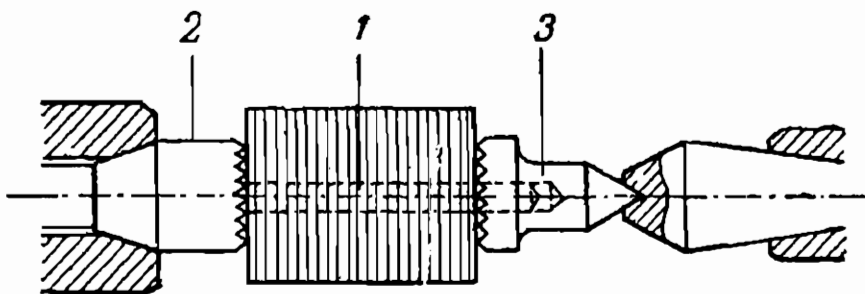
a



Разрез по а-а



б



в

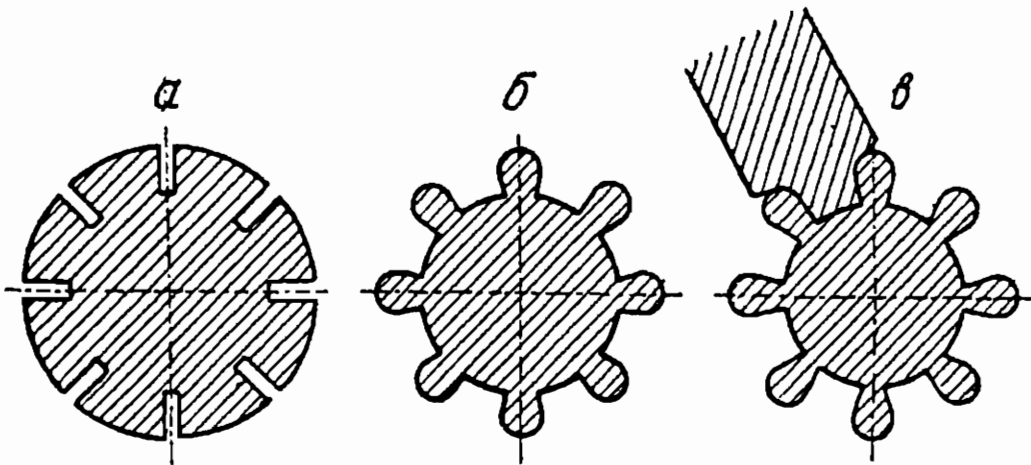
Фиг. 367.

а—оправка для закрепления зубчатых колес с большим отверстием, б—оправка для закрепления зубчатых колес с малым отверстием и со спицами, в—оправка для закрепления зубчатых колес с малым отверстием и без спиц.

центральное отверстие совсем не получается при вырубании, ориентируются по дугам (фиг. 367, б). Для этого применяется оправка, стержень которой состоит из отдельных секторов. Зажимаются детали, как и в предыдущем случае, гайкой 2.

Наконец, в тех случаях, когда центральное отверстие мало, а спицы отсутствуют, можно использовать способ, показанный на фиг. 367, в. Здесь шестерни надеваются центральным отверстием на стержень 1, служащий лишь для центрирования, а не для закрепления деталей. Детали зажимаются между частями 2 и 3, находящимися под действием пружин. Для лучшего удерживания деталей части 2 и 3 снабжены торцевыми зубьями.

Операция 3. Обработка центрального отверстия. Окончательно центральное отверстие обрабатывается растачиванием, либо при помощи штампа. В обоих случаях деталь ориентируют по наружной окружности.



Фиг. 368.

Обработка трибок заключается в вытачивании, нарезании зубьев и отделке. Нарезаются зубья модульной фрезой. Обычно получить за один проход профиль зуба с требуемой точностью и чистотой поверхности не представляется возможным. В большинстве случаев нарезка производится с двух, а при весьма малом числе зубьев — и с трех проходов.

В зависимости от типа станка зубья нарезают двумя способами:

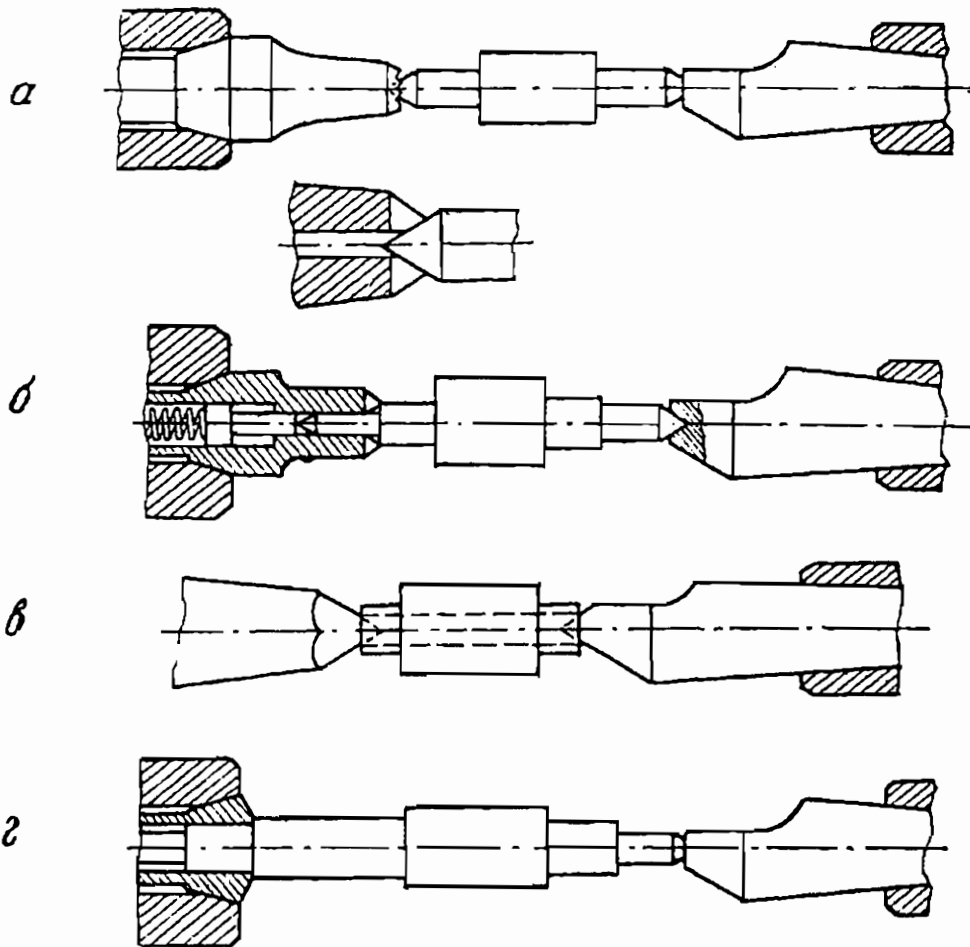
- 1) каждый из проходов выполняется отдельной фрезой;
- 2) нарезают одной фрезой, фрезерующей каждый зуб два или три раза.

Схема первого способа показана на фиг. 368. Первая фреза, представляющая собою обычную прорезную фрезу, делает канавки прямоугольной формы. Вторая фреза фрезерует зуб, близкий по форме к требуемому, оставляя припуск в 0,1—0,2 мм. В качестве второй фрезы можно использовать износившуюся фрезу для окончательной обработки.

Если нарезают по второму способу, фреза при первом проходе углубляется в заготовку весьма незначительно, намечая лишь канавки. После того как все канавки профрезерованы, производится

второй проход, причем фреза углубляется на полную (если нарезание производится в два прохода) глубину зуба.

Сопоставляя оба метода друг с другом, выявляем следующее. Недостатком первого способа являются неточности вследствие неизбежных даже при самой тщательной наладке неточностей в расположении фрез. Недостаток второго способа — усиленный износ фрез. Вследствие этого первый способ следует считать более целесообразным в массовых производствах, второй — в условиях производств с большим количеством переналадок и для изготовления наиболее точных деталей.



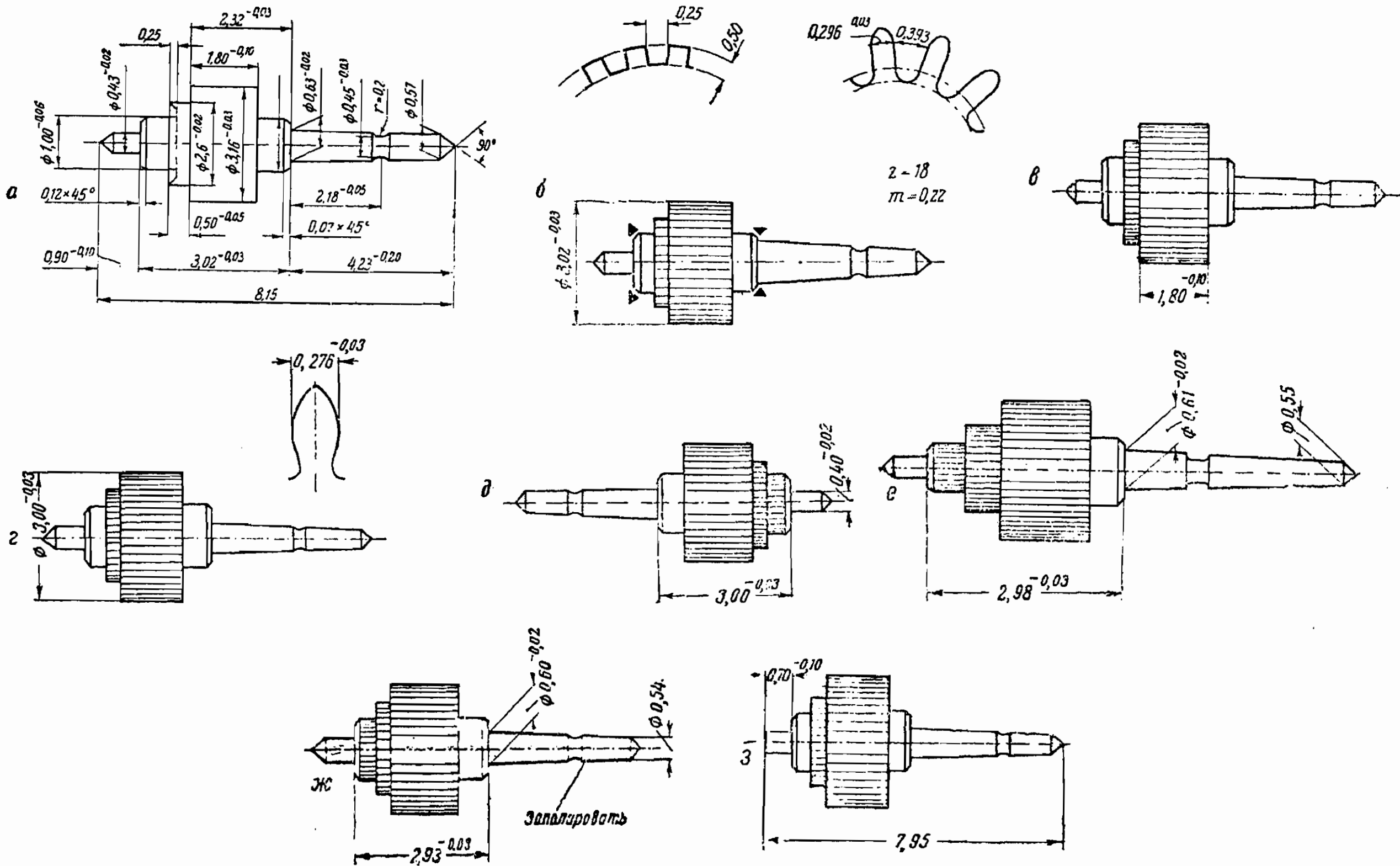
Фиг. 369. Закрепление трибок при нарезании зубьев.
а—оправка для крепления трибок, *б*—оправка для крепления трибок с малой цапфой, *в*—оправка для крепления трибок с внутренним отверстием, *г*—цапговый зажим для крепления трибок.

При нарезании зубьев деталь закрепляется, как показано на фиг. 369. При способе, показанном на фиг. 369, *а*, центр, вращающий заготовку, имеет нарезанные на нем торцевые зубья, создающие трение между заготовкой и центром, достаточное для вращения заготовки.

В качестве примера рассмотрим технологический процесс минутного триба часового механизма, применяемый на 1-м часовом заводе (фиг. 370).

Операция 1. Выточить из пруткового материала (фиг. 370, *а*). Эта операция выполняется на автомате «Торнос».

Операция 2. Нарезать зубья (фиг. 370, *б*). Операция выполняется на станке «Петерман».



Фиг. 370. План обработки минутного триба часового механизма.

Операция 3. Промыть.

Операция 4. Калить, отпустить.

Операция 5. Снять заусенцы после нарезки зубьев (фиг. 370, в), зачистить на щетке после калки.

Операция 6. Притереть зубья (фиг. 370, г). Операция выполняется по методу, описанному на стр. 316.

Операция 7. Промыть.

Операция 8. Притереть цапфу на станке «Стандарт» (фиг. 370, д).

Операция 9. Притереть конусную цапфу на станке «Стандарт» (фиг. 370, е).

Операция 10. Притереть конусный конец и острый угол на станке «Стандарт» (фиг. 370, ж).

Операция 11. Притереть торец (фиг. 370, з).

Д. Винты и гайки

В зависимости от назначения винты можно разделить на две категории: крепежные винты и винты, предназначенные для передвижения или перестановки одной детали относительно другой. В большинстве случаев к винтам последней категории предъявляются значительно более высокие требования в отношении точности резьбы, чем к крепежным винтам.

К р е п е ж н ы е в и н т ы

В отличие от машиностроения, где наиболее распространены винты с шестигранными или квадратными головками, в точном приборостроении применяются преимущественно винты с цилиндрическими шлицованными головками.

Изготовление винтов со снятием и без снятия стружек

Процесс изготовления винта с цилиндрической шлицованной головкой сводится к получению стержня с головкой, обработке резьбы, шлицеванию.

В ряде случаев, например в часовом производстве, добавляются еще калка, а также шлифование и полирование головки (для придания надлежащего внешнего вида и предохранения от коррозии).

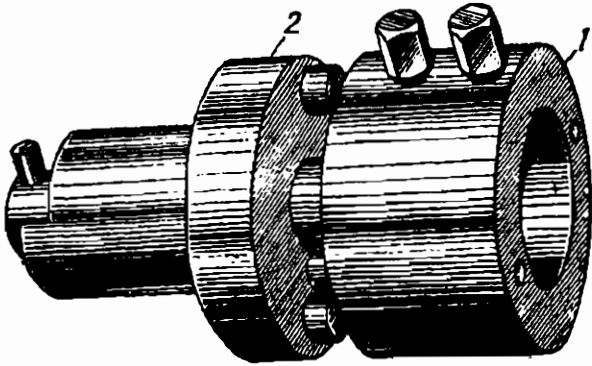
Стержень с головкой и резьба могут быть получены при помощи двух принципиально различных методов обработки: 1) со снятием стружки; 2) без снятия стружки.

Обработка винтов со снятием стружки производится обычно на нормальных или специально для этой цели предназначенных автоматах или на револьверных станках.

Резьба на автоматах и револьверных станках обрабатывается плашками (лерками) или самооткрывающимися винторезными головками. Процесс обработки резьбы плашками на револьверном станке происходит следующим образом. Плашки закрепляются

в соответствующих державках (одна из конструкций показана на фиг. 371).

Державка состоит из двух частей: подвижной 1, в которой укрепляется плашка, и неподвижной 2. Последняя закрепляется в револьверной головке. В процессе резания часть 1 входит в сцепление с частью 2 при помощи штифтов.

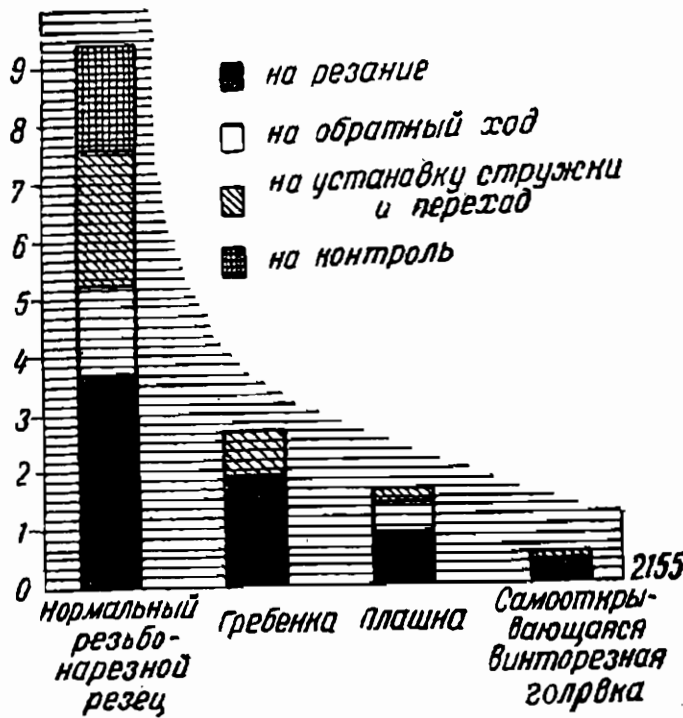


Фиг. 371. Державка для плашек.

Когда револьверная головка доходит до упора, подвижная часть 1 продолжает двигаться поступательно до тех пор, пока штифты не выйдут из зацепления. Для свинчивания плашки станку сообщают обратный ход, и револьверная головка вместе с державкой отводится назад.

При обработке резьбы самооткрывающимися винторезными головками отпадает необходимость в обратном холостом ходе, вследствие чего производительность по сравнению с обработкой плашками повышается на 30—40%. За последние годы самооткрывающиеся винторезные головки получили большое распространение (за исключением тех случаев, когда приходится обрабатывать винты весьма малого диаметра или очень короткие).

На фиг. 372 сопоставлены производительности различных методов получения резьбы.



Фиг. 372. Сопоставление различных методов получения резьбы в отношении производительности.

На фиг. 372 сопоставлены производительности различных методов получения резьбы.



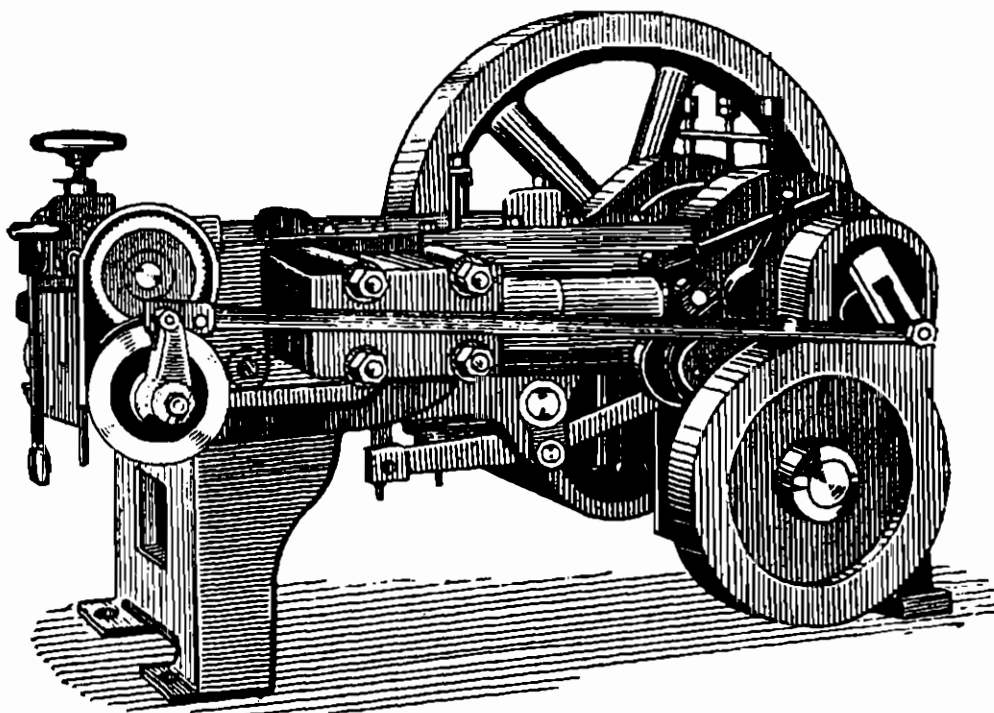
Фиг. 373.

Процесс изготовления винтов без снятия стружки показан на фиг. 373 — 375. Винты изготавливаются из проволоки; диаметр проволоки должен быть равен примерно среднему диаметру резьбы, которую требуется получить.

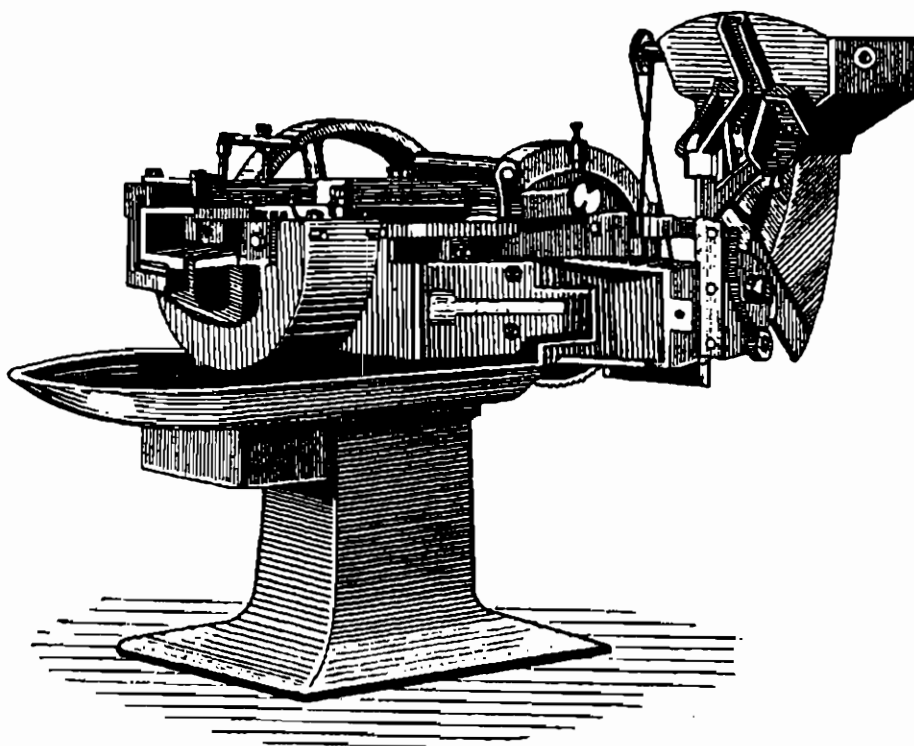
Первые три перехода (фиг. 373) — отрезание проволоки, высаживание головки начерно и высаживание головки начисто — вы-

полняются на одном станке (фиг. 374). Головка высаживается в холодном состоянии¹.

Проволока подается зажимным патроном, режется по длине на куски и особым устройством подается к матрице. Затем ползун



Фиг. 374. Станок для холодной штамповки винтов.



Фиг. 375. Станок для накатывания резьбы.

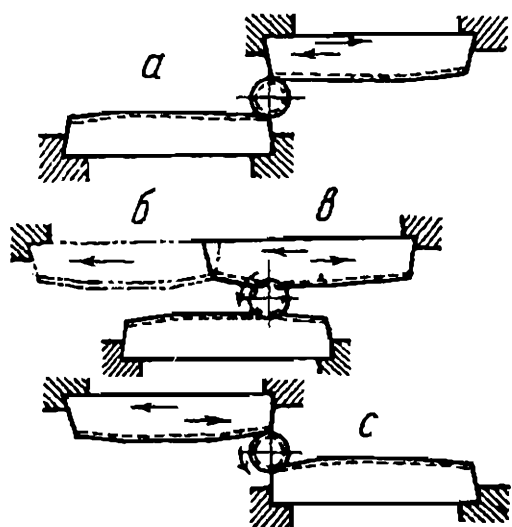
производит два удара: при первом ударе головка высаживается начерно, при втором — начисто. Одновременно отрезается новый

¹ В противоположность крупным винтам, у которых высаживание головок производится в горячем состоянии.

кусок проволоки нужной длины. После второго удара винт выбрасывается выталкивателем. Проволока подается к станку большими бунтами, вследствие чего станок может работать без обслуживания больше времени, чем токарный автомат для изготовления винтов.

После этого производится шлицевание головки (см. ниже).

Резьба получается путем накатывания на специальном станке (фиг. 375). Детали подаются автоматически, для чего их заклады-



Фиг. 376.

вают в магазинную коробку, совершающую колебательные движения. Резьба накатывается между двумя плоскими плашками. Процесс накатывания можно разбить на три этапа (фиг. 376): *a* — работа приемной части плашки — резьба формируется; *в* — работа калибрующей части — резьба доводится до окончательных размеров; *с* — готовая деталь освобождается. Обратный ход плашек по накатанным ниткам отсутствует, так как по окончании рабочего процесса деталь автоматически выбрасывается. Наружный диаметр винта, обработанного накатыванием, получается больше диаметра

заготовки. Разность между диаметрами зависит от механических свойств материала, и ее приходится определять экспериментальным путем.

В качестве первого приближения можно пользоваться формулой

$$d = \sqrt{\frac{1}{2}(d_{\text{н}}^2 + d_{\text{в}}^2)},$$

где d — диаметр заготовки;

$d_{\text{н}}$ и $d_{\text{в}}$ — соответственно наружный и внутренний диаметры резьбы.

В холодном состоянии винты обрабатываются преимущественно из стали и латуни.

Допуски на диаметр проволоки не должны выходить за пределы нескольких сотых миллиметра. Если диаметр проволоки больше требуемого, то ее нельзя будет завести в матрицу, если меньше — будет накатываться неполная резьба. Проволока должна быть светлотянутой с блестящей поверхностью. При гладкой поверхности проволоки матрицы сохраняются больше, так как меньше трение проволоки об их стенки.

Если после волочения в проволоке остались напряжения, то это может вызвать трещины в детали при высаживании.

Проволока должна иметь мелкозернистую структуру. При крупнозернистой структуре на поверхности головки появляются раковины и, кроме того, матрицы быстро изнашиваются. Как показали опыты, при материале с крупнозернистой структурой матрицы нагреваются значительно больше, чем при материале с мелкозернистой структурой.

Весьма существенным недостатком, обнаруживающимся лишь в процессе изготовления винтов, является неполнота сечения проволоки (фиг. 377). При накатывании резьбы на винтах из такой проволоки на стержне винта по всей длине получается трещина.

При затягивании винтов, изготовленных из стальной проволоки с низким содержанием углерода, головка часто отскакивает. Этот дефект объясняется односторонней ликвацией проволоки. Если зона ликвации располагается по отношению к сечению эксцентрично, то при высаживании головки получается продольный изгиб проволоки, что обуславливает понижение прочности. Трудности возникают также при изготовлении винтов из пережженной проволоки и из проволоки, наружный слой которой мало обезуглерожен. Вследствие высокого давления на поверхность такая проволока в матрицах заедает, иногда этот дефект бывает столь значительным, что оказывается негодной вся бухта.

Наиболее высококачественные винты получаются при применении улучшенной стальной проволоки.

Латунь, применяемая для изготовления винтов без снятия стружки, должна содержать меди 72% и выше и по возможности не содержать свинца. Механические свойства должны быть следующими: прочность на разрыв 40—42 кг/мм², удлинение 40—45%. В случае более жесткой проволоки пластичность уменьшается, и прочность в месте перехода стержня в головку сильно понижается.

С другой стороны, если проволока слишком мягка, то возникают трудности при изготовлении длинных винтов. При отрезании мягкая проволока гнется и, входя в матрицу, расплющивается. Такую проволоку можно сделать годной к употреблению, если ее проволочить еще раз, чтобы уменьшить ее диаметр на 0,01—0,02 мм. Особенно неприятным дефектом при изготовлении винтов является ликвация латуни. Пороки вследствие ликвации латуни проникают на много метров в длину; в процессе производства присутствие таких недостатков не всегда может быть установлено с достаточной надежностью.

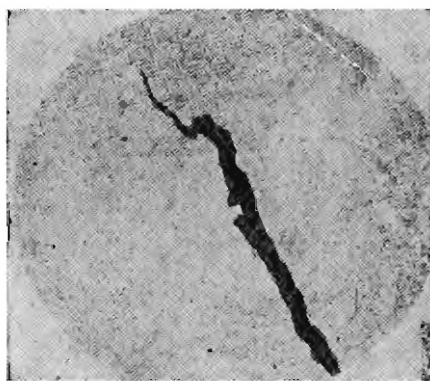
Весьма неблагоприятно на качестве винтов отражаются также пузыри и включения шлаков.

Переходя к вопросу о сопоставлении методов обработки винтов со снятием стружки и без снятия стружки, отметим следующее.

По внешнему виду и чистоте обработки (на что в точном приборостроении обращают большое внимание) существенной разницы между обеими категориями винтов не имеется. Обычно винты с накатанной резьбой обладают более гладкой поверхностью, чем точеные.

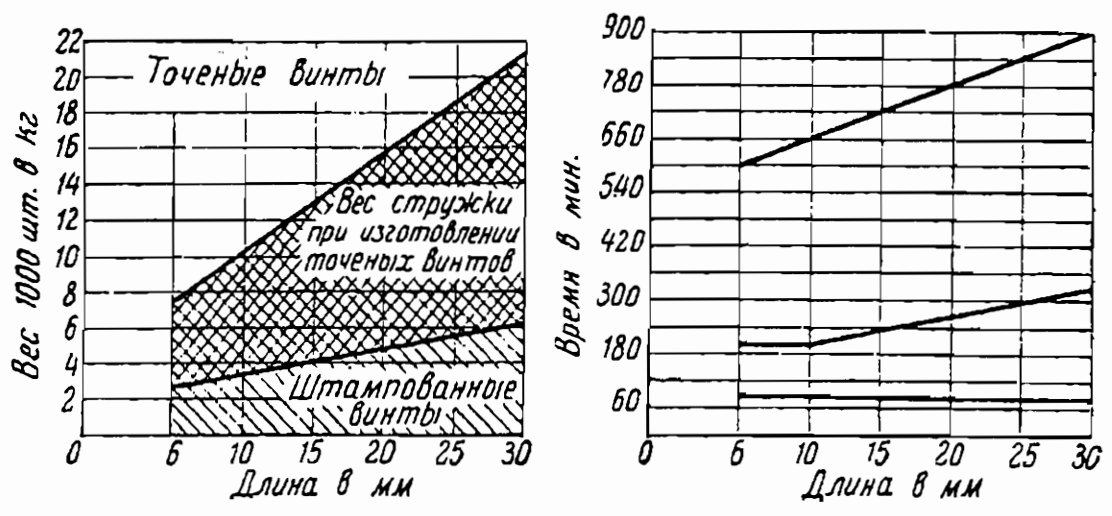
У винтов, изготовленных без снятия стружки, головка имеет слегка коническую форму; эта разница, однако, несущественна.

Точность размеров винтов, изготовленных без снятия стружки, не уступает точности размеров винтов, полученных обработкой резанием.



Фиг. 377.

В экономическом отношении при массовом изготовлении винтов более выгоден метод обработки без снятия стружки. При этом методе меньше расход материала, выше производительность и ниже себестоимость.



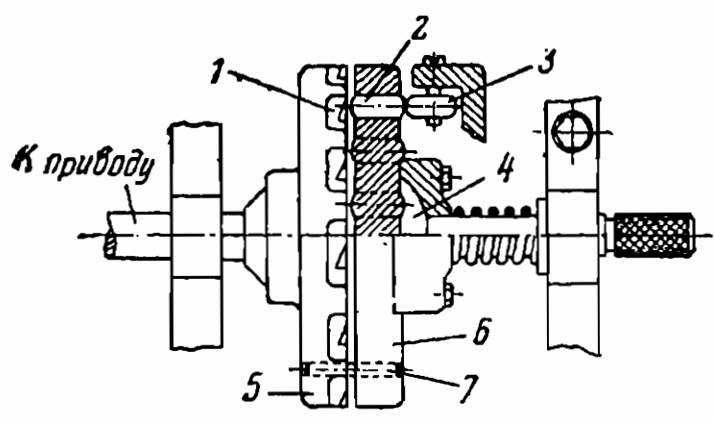
Фиг. 378. Сопоставление экономичности изготовления винтов путем точения без снятия стружки.

стоимость. На фиг. 378 дано сопоставление обоих методов по данным, опубликованным в журнале «Werkstattstechnik» за 1937 г.

Шлицевание головок винтов

Если винт изготавливается на соответствующем токарном автомате, головка его шлицуется обычно на этом же автомате при помощи специального устройства.

В тех же случаях, когда станок не имеет специального устройства или винт обрабатывается без снятия стружки, шлицевание



Фиг. 379. Приспособление для непрерывного шлицевания винтов.

головок выносится в отдельную операцию, которая осуществляется на обычных фрезерных станках, оборудованных соответствующими приспособлениями, либо на специальных шлицовочных автоматах и полуавтоматах.

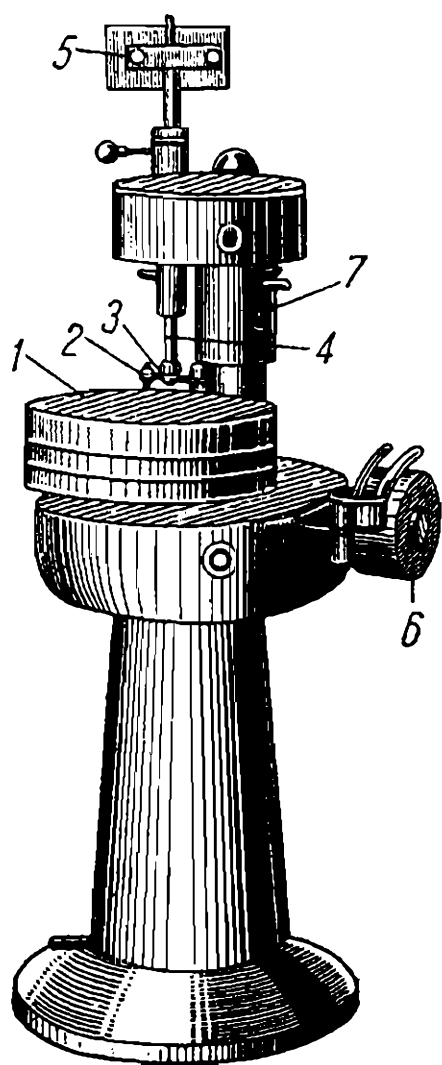
На фиг. 379 показано приспособление барабанного типа для непрерывного шлицевания винтов. Диск 5 вращается посредством червячной

передачи от мотора и посредством шпилек 7 приводит во вращение диск 6. На диске 5 посажены на винтах закаленные сменные сухари 1, имеющие паз для зажима деталей. На диске 6 против каждого сухаря имеется шпилька 2, которая свободно ходит в отверстии. Диск 5 сидит в сферическом подшипнике 4. Диск 6 можно слегка перемещать рукояткой по сфере, устанавливая по отношению к диску 5 несколько наклонно. Прижимной ролик 3 вращается в стойке, прикрепленной к неподвижной плите; этот ролик можно

передвигать при помощи винта (на рисунке не указан). При вращении дисков ролик надавливает на шпильку 2 и через нее прижимает деталь как раз в тот момент, когда она проходит под фрезером. Благодаря некоторой эксцентricности вращения диска 6 в следующий после прорезки паза момент диски расходятся, деталь выпадает из гнезда и попадает в жолоб. Такой барабан можно заряжать автоматически посредством магазинного устройства, питающего барабан в том месте, где диски начинают сходиться. Приспособление может быть установлено на любом фрезерном станке.

Шлифование и полирование головок винтов

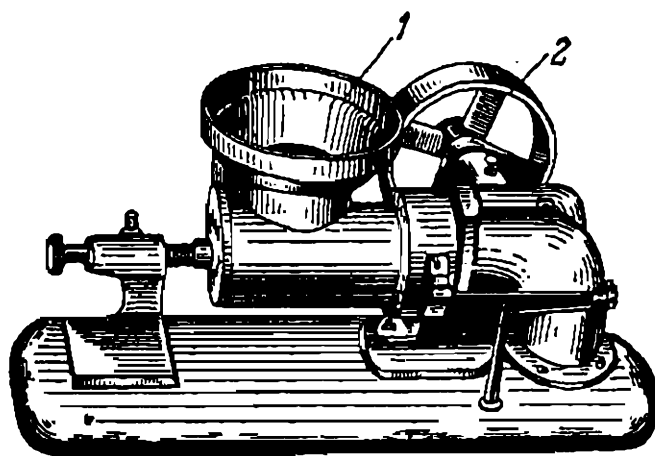
Описанный ниже способ шлифования и полирования головок винтов применяется в часовой промышленности. Винты вставляются в отверстия круглой стальной пластинки и приклеиваются к ней шеллаком. Две такие пластинки накладываются головками вниз на чугунную плиту 1 специального полировочно-шлифовочного станка (фиг. 380).



Фиг. 380. Станок для полировки головок винтов.

В конические углубления пластинок заходят штифты 2, закрепленные в коромысле 3 шпинделя 4.

Шпиндель 4 расположен эксцентricно по отношению к плите (ось шпинделя делит радиус плиты примерно пополам). Действием груза 5 шпиндель прижимает пластинки с винтами к плите. В про-



Фиг. 381. Станок для блокировки винтов.

цессе обработки шпиндель и плита 1 вращаются. В других конструкциях шлифовочно-полировочных станков пластинки не вращаются, а лишь прижимаются к вращающейся плите. В качестве шлифующего вещества применяется наждачный порошок, смешанный с жидким маслом, а в качестве полирующего — венская известь. В каждой

пластинке укрепляется до 100 винтов, благодаря чему основное технологическое время, приходящееся на каждый винт, весьма незначительно.

Чтобы уменьшить время, затрачиваемое на вставку штифтов, применяют специальные станочки. На фиг. 381 показан подобный станочек фирмы Ламберт.

Пластинку с отверстиями для винтов закладывают в воронку 1. На пластинку насыпают винты в количестве, превышающем количество отверстий. Внутри корпуса имеется центробежный насос, приводимый в действие шкивом 2. При вращении последнего внутри корпуса под пластинкой создается разрежение. Одновременно шкив 2 вращает эксцентрик, заставляющий вибрировать переднюю часть станка, несущую воронку, вследствие чего винты, насыпанные на пластинку, падая стержнями вниз, попадают в соответствующие отверстия и остаются в них, прижимаясь нижней плоскостью головки к пластинке. Чтобы заполнить все отверстия или, как говорят, заблокировать пластинку, требуется 0,5—1 мин.

Т о ч н ы е в и н т ы

Резьба винтов, предназначенных для передвижения или перестановки одной детали по отношению к другой, в большинстве случаев должна быть весьма точной. Обеспечить соблюдение требуемой точности путем обработки плашкой часто не представляется возможным.

Основной причиной, вызывающей погрешности при обработке резьбы плашкой, является неизбежная неточность резьбы у самой плашки, происходящая вследствие неточностей маточного метчика, неточностей процесса нарезания и искажений при закалке. Кроме того, погрешности по шагу могут произойти вследствие неправильного забора, неправильных углов зубцов или неоднородной твердости материала.

Основными методами обработки резьбы у точных винтов являются: 1) фрезерование; 2) нарезание резцом или гребенкой на самоточке; 3) шлифование.

Выбор методов обработки резьбы и их последовательности в первую очередь зависят от того, подлежит винт закалке или нет.

Фрезерование резьбы, как известно, может быть выполнено двумя способами: 1) дисковой фрезой (фиг. 382, а); 2) цилиндрической фрезой, имеющей ширину несколько больше, чем длина нарезки у детали (фиг. 382, б).

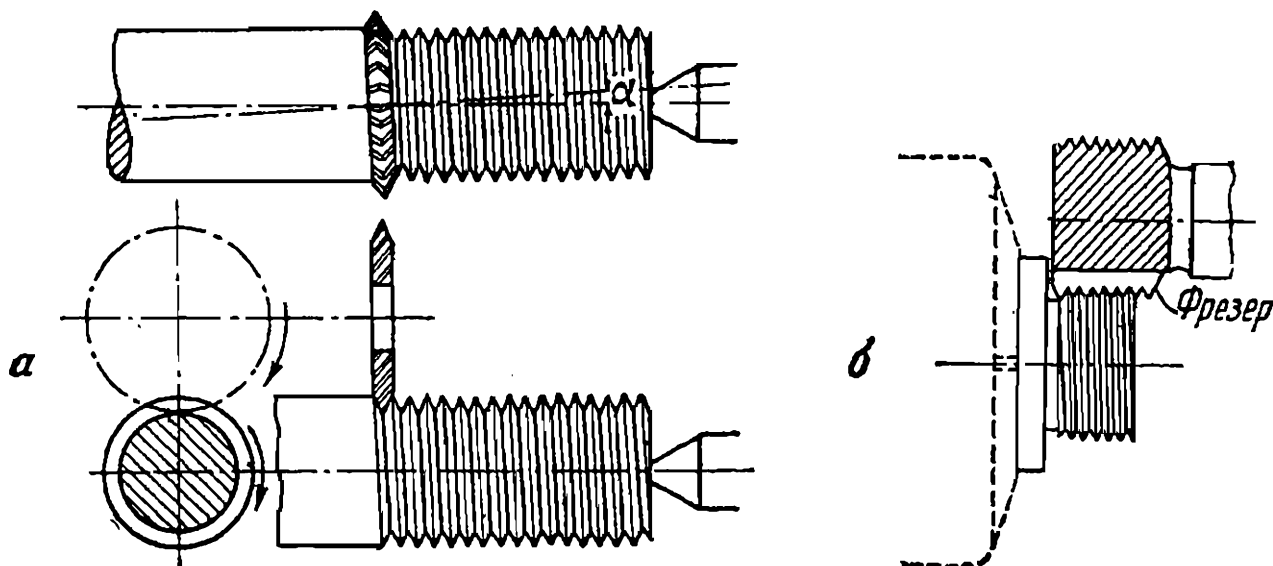
Первый метод применяется преимущественно при обработке длинных, сравнительно малоустойчивых деталей и при крупных шагах резьбы, второй — при коротких деталях с мелким шагом резьбы. Это объясняется следующими причинами:

1) цилиндрическая фреза, в особенности при крупных шагах, оказывает большое давление на деталь;

2) ось цилиндрической фрезы установлена параллельно оси детали, а не под углом, соответствующим наклону резьбы, что вызы-

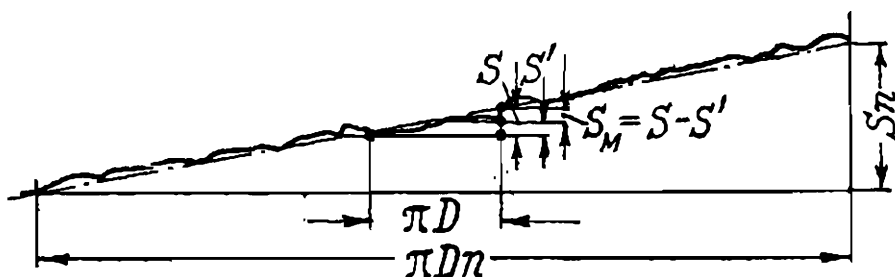
вадет искажение резьбы, которое не имеет существенного значения при небольших подъемах винтовой линии, но возрастает с увеличением шага (при данном диаметре).

По сравнению с нарезанием плашкой или самооткрывающейся винторезной головкой фрезерование резьбы является менее производительным и более дорогим, но и более точным методом, в особенности по шагу. Фрезерование следует применять в тех случаях, когда при помощи плашки не представляется возможным обеспечить требуемую точность.



Фиг. 382.

С другой стороны, для обработки резьбы у высокоточных винтов фрезерование непригодно и может быть использовано лишь для предварительной обработки, предшествующей отделке резцом на самооточке или шлифованию.



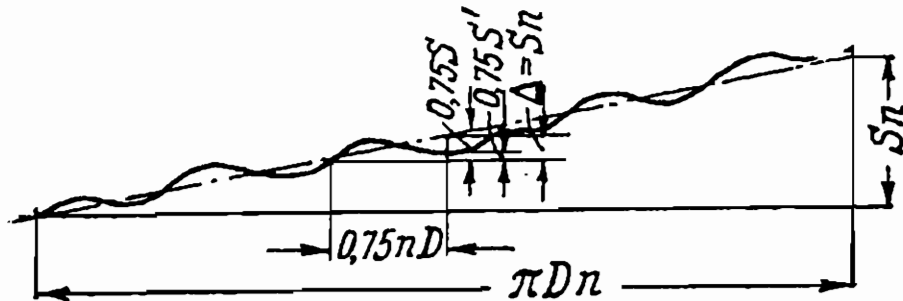
Фиг. 383.

Обработка на самооточке является основным методом получения винтовой нарезки у точных незакаливаемых винтов. Винты, подлежащие закалке, окончательно обрабатываются на самооточке лишь при отсутствии высоких требований к точности. При изготовлении высокоточных закаленных винтов обработка на самооточках является предварительной операцией, предшествующей шлифованию.

Рассмотрим основные причины, вызывающие погрешности при обработке резьбы на самооточке. Эти погрешности можно разделить

на три основных категории: местные, периодические и прогрессивные¹.

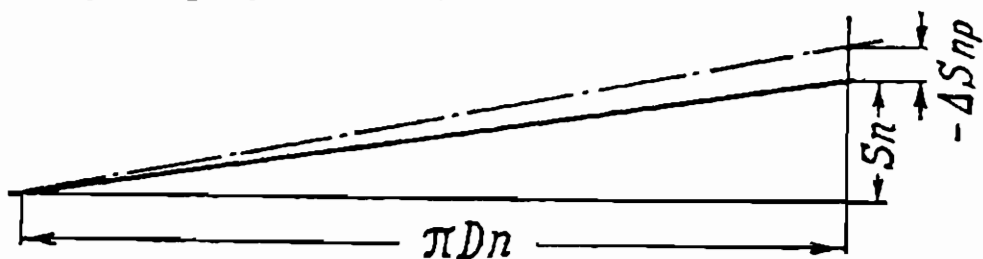
Местные ошибки возникают вследствие: 1) местных ошибок винта; 2) изменения силы сопротивления трению между отдельными звеньями механизма станка; 3) вибрации станка; 4) случайно возникающих толчков (например, попадание грязи между зубьями шестерен или защемление зубьев при туго сцепленных колесах гитары); 5) отклонений резца под действием давления стружки при неоднородном материале или неровной заготовке.



Фиг. 384.

На фиг. 383 прямая линия изображает развертку идеального шага, а ломаная линия характеризует местные ошибки.

Периодические ошибки, т. е. ошибки, которые регулярно повторяются на всем протяжении резьбы на каждом шаге, графически представлены на фиг. 384 в виде синусоиды с периодом, равным одному обороту винта (фиг. 384).



Фиг. 385.

Периодические ошибки вызываются следующими причинами: 1) периодические ошибки шага ходового винта; 2) эксцентрическое вращение ходового винта; 3) осевое перемещение и битье шпинделя станка; 4) осевое перемещение ходового винта вследствие неперпендикулярности торцов подшипника ходового винта и опорных колец винта; 5) неточность шага и эксцентричность зубчатых колес; 6) неточная центровка детали, не обеспечивающая прилегания центров станка к центровым отверстиям, и несовпадение осей центров станка; 7) отклонения резца под действием переменного давления стружки вследствие неточной центровки, кривизны детали и неоднородности материала.

Прогрессивными ошибками называются ошибки, возрастающие пропорционально длине нарезки (фиг. 385). Про-

¹ Более подробно см. Чехматаев, Технология контрольно-измерительного инструмента и измерительных приборов, ОНТИ, 1938.

грессивные ошибки возникают вследствие: 1) ошибок ходового винта; 2) непараллельного движения резца по отношению к оси нарезаемого винта; 3) приблизительного подбора шестерен; 4) разницы температур детали и станка, а также станка и окружающей среды.

Винты, у которых шаг требуется выдержать особенно точно, следует нарезать на специальных прецизионных станках, у которых влияние погрешностей изготовления ходовых винтов на точность нарезаемых деталей устраняется при помощи коррекционных линеек. При применении станков SIP для точной резьбы погрешность по шагу не превышает 0,002 мм на всей длине нарезки.

Погрешности в профиле резьбы выражаются: 1) в виде отклонений угла профиля от заданного значения; 2) в виде несимметричного расположения профиля относительно перпендикуляра к оси винта и 3) в виде непрямолинейности сторон профиля.

Эти погрешности вызываются: 1) ошибками профиля резца; 2) неточной установкой резца по отношению к углу подъема резьбы; 3) неточной установкой резца относительно оси детали.

Погрешности в профиле резьбы зависят от квалификации рабочего и типа инструмента. Наиболее высокая степень точности достигается при обработке резьбы однопрофильным призматическим резцом, грани которого, в отличие от граней дискового резца, прямолинейны. Менее точной резьба получается при применении гребенки, так как при изготовлении последней имеет место ряд неизбежных ошибок. При обработке высокоточных винтов гребенку можно использовать лишь для предварительной операции.

Мелкую резьбу часто нарезают гребенками с шагом, не равным заданному, а кратным ему.

К этому способу прибегают вследствие того, что изготовить и измерить точную гребенку с крупным шагом значительно легче, чем с мелким.

Шлифованию резьбы применяется для обработки высокоточных каленых винтов. При этом методе представляется возможным выдержать следующие допуски:

по среднему диаметру	$\pm 0,003$ мм
по шагу на длине 25 мм	$\pm 0,003$ »
» » » » 100 »	$\pm 0,0075$ »
по углу профиля	$\pm 3'$

Шлифовать можно резьбу с шагом, начиная от 0,25 мм, но при мелких шагах (до 0,5 мм) производительность получается весьма низкой. Это объясняется следующими причинами. При шагах от 0,5 мм и выше применяются пористые круги с керамической связкой. Пористость необходима для того, чтобы охлаждающая жидкость через поры шлифовального круга под действием центробежной силы могла поступать к шлифуемому месту. Для шлифовки мелких резьб круги с керамической связкой непригодны, так как они быстро теряют свой профиль у вершины.

Для шлифования резьбы с мелким шагом применяются круги с каучуковой или иной пластической связкой. Такие круги быстро

засаливаются, и потому во избежание нагрева детали приходится вести шлифование на весьма низком режиме.

Резьба шлифуется либо широким кругом, на котором выдавлено несколько кольцевых рядов профиля резьбы, либо узким однопрофильным кругом. Производительность при работе широким кругом весьма высока, но точность получается ниже, чем при однопрофильном круге. Поэтому однопрофильным кругом обрабатывают винты, у которых требуется выдержать особенно высокую степень точности.

В ряде случаев применяют комбинированный способ: предварительно шлифуют широким кругом и окончательно — однопрофильным кругом.

Погрешности, возникающие при шлифовании резьбы, по своему характеру сходны с погрешностями, возникающими при обработке резцом на токарном станке. Существенная погрешность в профиле резьбы часто имеет место вследствие того, что круг затачивается по профилю до его установки под углом подъема резьбы. Чтобы избежать этой погрешности, профиль круга необходимо затачивать после установки его под углом подъема резьбы.

Станки, предназначенные для шлифования особо точной резьбы, следует устанавливать в помещениях с постоянной температурой.

Г а й к и

Гайки изготавливаются либо в две операции (обработка корпуса и нарезание отверстия), либо в одну. В первом случае корпус обрабатывается либо путем штамповки, либо путем вытачивания на револьверном станке или автомате.

Нарезание отверстия можно производить: 1) на сверлильном станке; 2) на резьбонарезном станке; 3) на специальном гайконарезном станке.

Нарезать можно следующими способами:

1) обычным метчиком; после нарезания метчик вывинчивается;
2) гаечным метчиком с длинным хвостом; после нарезания метчик не вывинчивается, нарезанные гайки собираются на хвост метчика; метчик периодически освобождается, нарезанные гайки снимаются и метчик снова закрепляется;

3) кривым метчиком; процесс нарезания происходит непрерывно, нарезанные гайки удаляются по хвосту метчика.

Последний способ является наиболее производительным, так как при нем отпадают потери времени на вывинчивание метчика или его освобождение, снятие гаек и закрепление метчика.

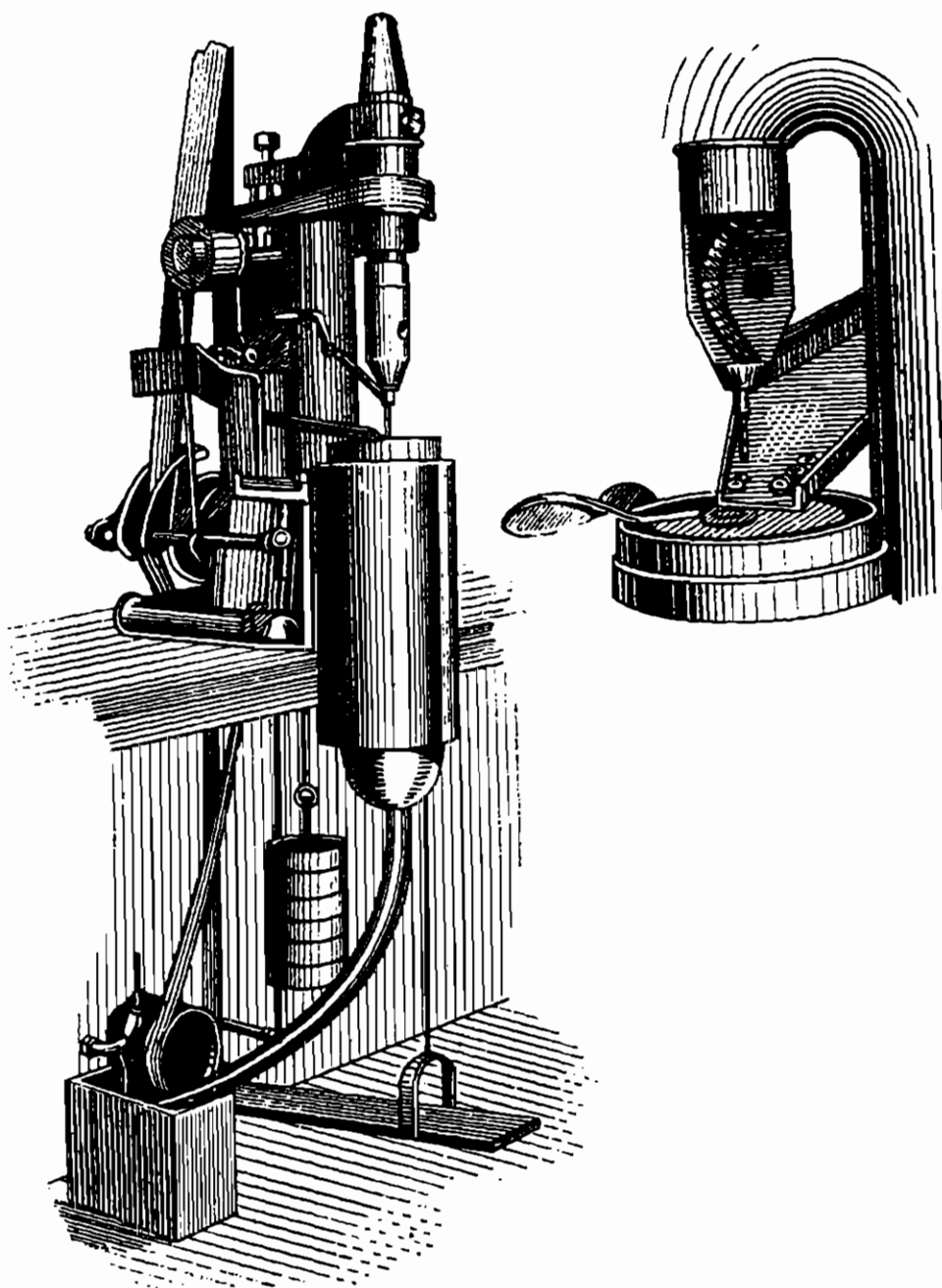
Нарезать гайки кривым метчиком можно на токарном, револьверном или сверлильном станке.

При массовом производстве для непрерывного нарезания гаек применяют специальные гайконарезные станки.

На фиг. 386 показан такой станок сверлильного типа, предназначенный для нарезания мелких гаек в телефонном, часовом и других производствах точного приборостроения.

Обработка гаек в одну операцию может выполняться на револьверных станках или автоматах обычного типа. В этом случае процесс

почти ничем не отличается от обычного процесса обработки втулок. При массовом производстве гайки обрабатываются в одну операцию на специальных автоматах. Одним из таких автоматов является автомат фирмы Гак Колб «Индекс ОД» (фиг. 387), предназначенный

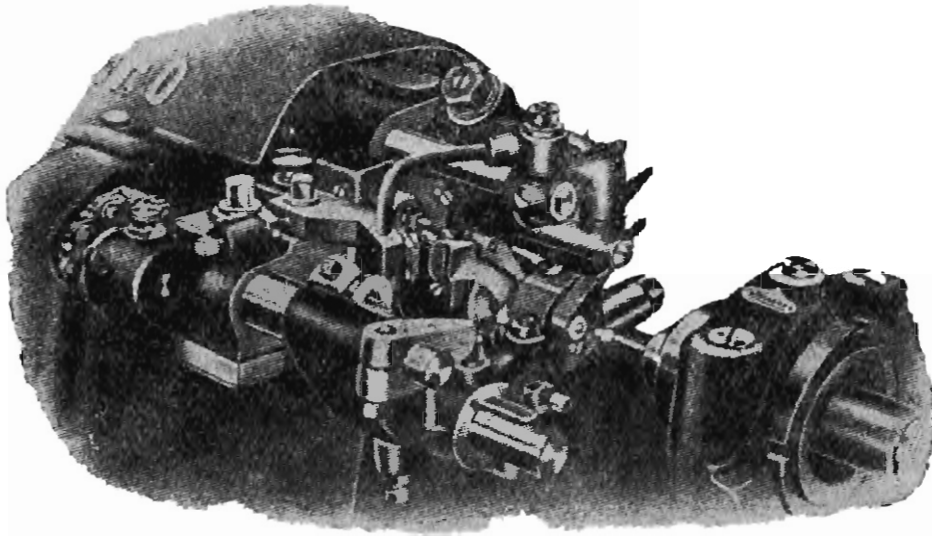


Фиг. 386. Специальный станок для нарезания мелких гаек.

для изготовления шестигранных и квадратных гаек в точном приборостроении. Процесс обработки гаек (с размерами, соответствующими расстоянию между сторонами ключа 5—8 мм) на этом станке заключается в следующем.

После сверления и зенкования с одной стороны гайка захватывается особым рычагом и вслед за отрезкой подводится для зенкования с другой стороны. Затем гайка переносится к устройству для нарезания, где имеется постоянно вращающийся метчик, приводимый во вращение посредством изогнутой части, представляющей собою своего рода кривошип (фиг. 388). После нарезки гайка падает в сборник. Одновременно сверлится и зенкуется следующая гайка.

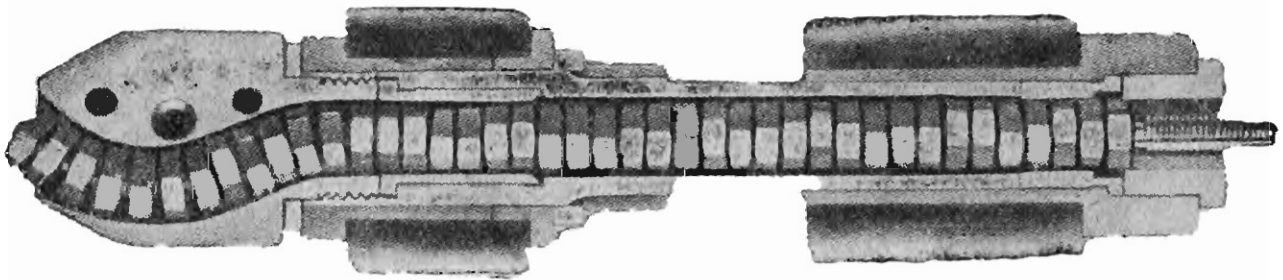
Подобным образом работает и автомат «Индекс ОЕ», предназначенный для изготовления круглых гаек диаметром 6—10 мм. При работе на указанных автоматах, по фирменным данным, достигается производительность в минуту от 15 до 40 шт.



Фиг. 387. Гайконарезной автомат.

Следует отметить, что при нарезании гаек кривыми метчиками на практике не всегда получаются удовлетворительные в отношении точности результаты.

В данном случае, кроме факторов, связанных с процессом нарезания метчиками (неточности самого метчика, приварка металла к угловым поверхностям резьбы метчика, недостаточность места для выхода стружки, смазка, режим работы, крепление метчика



Фиг. 88.

и детали и т. д.), весьма существенное значение имеет перекос метчика по отношению к оси вращения шпинделя¹. Чтобы получить резьбу правильных размеров, необходимо установить соответствующие допуски на зазор между диаметром отверстия под резьбу и диаметром хвоста, на зазор между диаметром отверстия втулки и диаметром описанного круга шестигранника гайки и на эксцентricность отверстия.

При наличии значительного эксцентриситета отверстия относительно наружной поверхности резьбы она получается однобокой.

¹ Вопрос о точности при работе на гайконарезных автоматах был детально рассмотрен в диссертации инж. Филимонова (Моск. мех. машиностр. иист. им. Баумана, 1939).

Из причин, вызывающих эксцентриситет, наиболее важными являются увод сверла вследствие неперпендикулярности торца к оси прутка и биение патрона.

Чтобы метчики не ломались, зазор между диаметром хвоста и минимальным диаметром отверстия под резьбу должен быть в два раза больше эксцентриситета. Чем меньше этот зазор, тем меньше величина разбивки.

3. ПЛАТИНКИ

Платинки, мостики и тому подобные детали представляют собою основания, на которых монтируются механизмы ряда приборов.

Общими технологическими задачами для различных деталей, относимых нами к классу платинок, являются: 1) получение ровной плоскости; 2) получение отверстий, точно расположенных друг по отношению к другу.

А. Получение плоскости

Основными методами получения плоскостей являются обтачивание, строгание и фрезерование. Способ обтачивания применяется преимущественно при обработке деталей, у которых одновременно требуется обработать центральное отверстие или наружную цилиндрическую поверхность. В таких случаях плоскость и отверстие или наружная поверхность обрабатываются на револьверном станке или автомате в одну установку.

При сопоставлении методов фрезерования и строгания необходимо исходить в первую очередь из размеров детали.

При фрезеровании крупных плоскостей, в особенности у тонкостенных деталей, погрешности, обусловливаемые деформациями детали, бывают значительно большими, чем при строгании.

Это объясняется тем, что при строгании: 1) меньше давление резания; 2) меньше усилие, требующееся для закрепления детали; 3) отсутствуют нагревы поверхности на небольших участках (происходящие при фрезеровании вследствие энергичного снятия стружки).

Кроме того, крупный фрезерный станок, будучи значительно сложнее по своему устройству, чем строгальный, обладает и большим количеством источников для возникновения погрешностей обработки.

Переходя к вопросу об экономичности, остановимся в первую очередь на основном технологическом времени.

Обозначим ширину обрабатываемой поверхности через B ; подачу на 1 ход при строгании — через b ; скорость рабочего хода при строгании — через v ; отношение скорости холостого хода к скорости рабочего хода при строгании — через a ; подачу при фрезеровании — через s_{ϕ} .

Средняя скорость при строгании

$$v_{\text{ср. с}} = 2 \frac{a}{a+1} v.$$

Время строгания поверхности длиной в 1 м

$$T_c = \frac{2B}{v_{\text{ср. с}} b}.$$

Время фрезерования

$$T_{\phi} = \frac{1000}{s_{\phi}}.$$

Оба способа равноценны в отношении основного технологического времени, если

$$\frac{2B}{v_{\text{ср. с}} b} = \frac{1000}{s_{\phi}} \quad \text{или} \quad B = 500 v_{\text{ср. с}} \frac{b}{s_{\phi}}.$$

Если действительная ширина плоскости больше B , основное технологическое время получается меньшим при строгании, если же действительная ширина меньше B , — то при фрезеровании. Это справедливо в том случае, если ширина фрезы (при цилиндрической фрезе) или ее диаметр (при торцевой фрезе) больше ширины обрабатываемой плоскости.

Если же плоскость приходится фрезеровать с нескольких проходов по ширине, то в отношении основного технологического времени фрезерование невыгодно. Кроме того, при этом способе обработки в месте стыка между отдельными проходами остается след, что весьма усложняет обработку широких точных плоскостей.

Вспомогательное время при фрезеровании обычно получается меньшим, чем при строгании. При фрезеровании широких плоскостей приходится применять мощные и дорогие фрезерные станки.

Стоимость крупных фрез также весьма высока. Накладные расходы на зарплату при фрезеровании выше, чем при строгании (по данным Рикноффа¹, например, они относятся, как 1,4 : 1).

Вследствие изложенного вопрос о том, какой способ обработки плоскостей крупных размеров — фрезерование или строгание — является более целесообразным, разрешить в общем виде не представляется возможным².

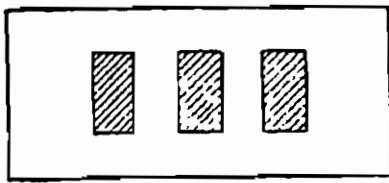
При индивидуальном или мелкосерийном производстве предпочитают обычно строгание.

Совершенно иначе обстоит дело при обработке плоскостей малых размеров в условиях серийного и, в особенности, массового производства. Прежде всего при фрезеровании отпадают все затруднения, связанные с получением требуемой точности. В то же время фрезерование позволяет широко использовать указанные выше принципы построения высокопроизводительных операций.

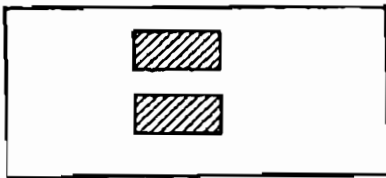
¹ «Maschinenbau», 1930, August.

² Интересно отметить, что вопрос о том, какой метод рациональнее — строгание или фрезерование — был предметом специальной дискуссии, организованной Американским обществом инженеров-механиков (краткий отчет см. в журн. «Mechanical Engineering», 1934, April). Результаты дискуссии не дали, однако, материалов, которыми можно было бы руководствоваться при решении данного вопроса.

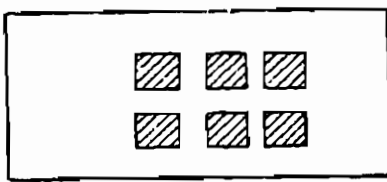
Методы работы стахановцев-фрезеровщиков, и в первую очередь орденоносца И. Гудова, показали, какие неисчерпаемые источники повышения производительности таятся в совмещении переходов, обработке нескольких деталей с одной установки, использовании машинного времени для выполнения ручных приемов и т. д.



→ *a*



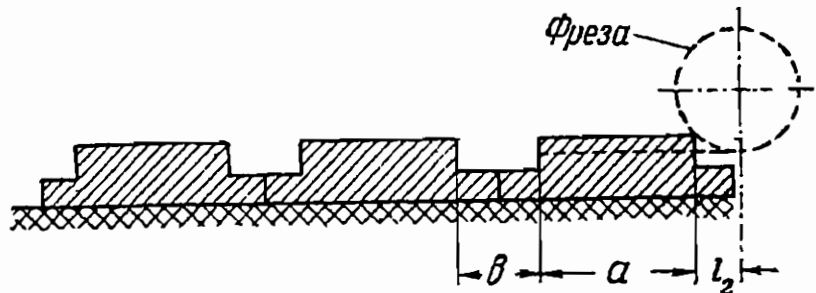
→ *b*



→ *b*

Фиг. 389.

Совмещение переходов осуществляется при помощи фасонной фрезы или нескольких фрез, закрепленных на одной оправке. При использовании второго способа следует стремиться к тому, чтобы размеры фрез были по возможности независимы друг от друга. В противном случае могут потребоваться фрезы ненормальных размеров. Кроме того, неодинаковый износ фрез отражается на точности обработки, а необходимость соблюдения относительных размеров фрез удорожает и усложняет их переточки.



Фиг. 390.

При обработке с одной установки нескольких деталей расположение их на столе станка может быть последовательным (фиг. 389, *a*), параллельным (фиг. 389, *б*) или параллельно-последовательным (фиг. 389, *в*).

Применение способа последовательного фрезерования тем менее целесообразно, чем больше холостые промежутки между деталями. Допустим, что требуется фрезеровать детали, показанные на фиг. 390.

При установке одной детали основное технологическое время составляет:

$$T' = \frac{a + l_2}{s},$$

где s — подача в минуту.

То же при установке n деталей:

$$T'' = \frac{l_2 + na + (n-1)b}{ns}.$$

При применении принципа последовательного фрезерования экономия в основном технологическом времени составляет:

$$l = T' - T'' = \frac{an + l_2n - l_2 - na - (n-1)b}{ns} = \frac{n-1}{n} \frac{l_2 - b}{s}.$$

Как видим, при $b = l_2$ экономия в машинном времени равна нулю, а при $b > l_2$ способ последовательного фрезерования в отношении основного технологического времени менее целесообразен, чем способ установки каждой детали отдельно.

Максимальная экономия, получаемая при отсутствии холостых промежутков, т. е. при $b = 0$,

$$e_{\max} = \frac{n-1}{n} \frac{l_2}{s}.$$

При параллельном фрезеровании деталей, если мощность станка позволяет работать без уменьшения подачи, основное технологическое время уменьшается в n раз. Кроме уменьшения основного технологического времени, времени перемещений стола и времени, затрачиваемого на включение и выключение станка, при фрезеровании нескольких деталей с одной установки обычно уменьшается время и на установку и снятие деталей.

Следует отметить, что наибольшего повышения производительности станков-фрезеровщиков удалось добиться путем одновременного использования принципов совмещения переходов и параллельно-последовательной установки нескольких деталей.

Машинное время можно использовать для снятия и установки деталей следующими способами.

1. Детали располагаются на столе станка по

Фиг. 391. Приспособления для непрерывного фрезерования.

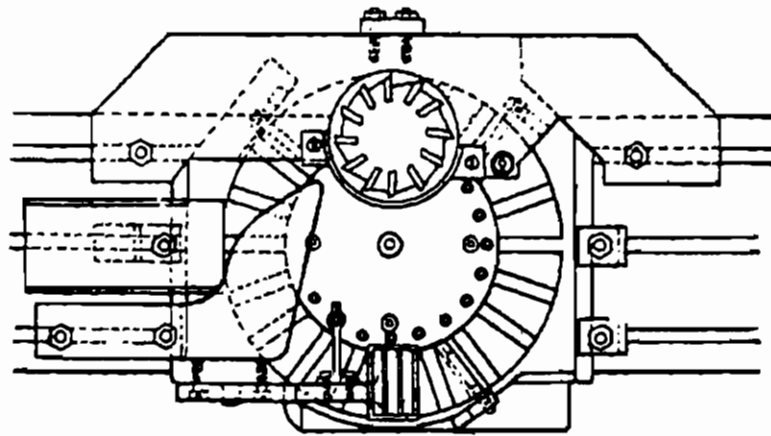
следовательно. Станок включается после закрепления первой заготовки (или первой группы заготовок).

На ходу закрепляются прочие заготовки, а также снимаются обработанные детали.

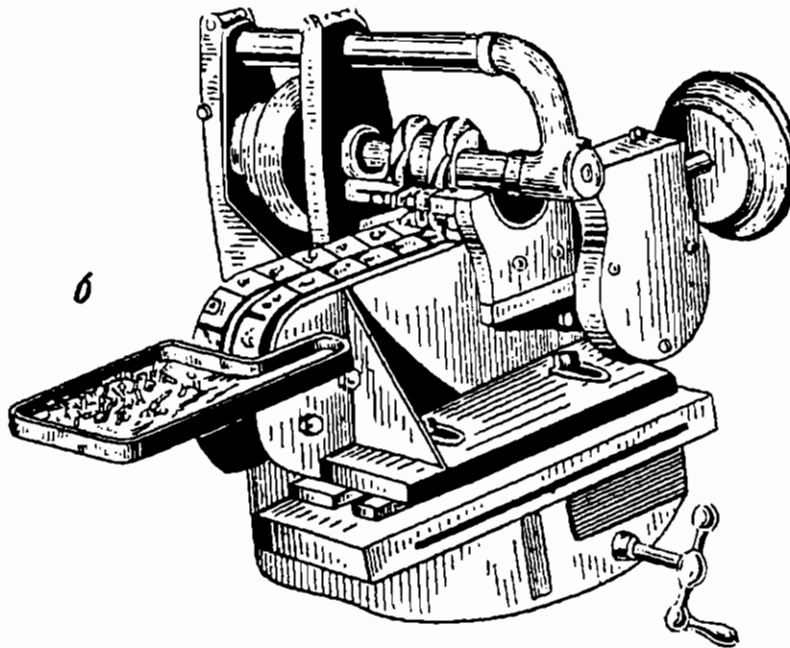
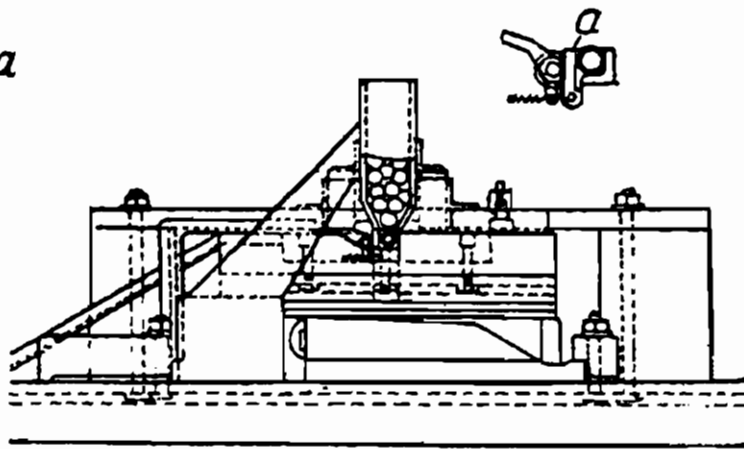
2. На столе станка устанавливаются друг против друга два одинаковых приспособления (фиг. 391). Пока фрезеруется деталь, установленная в одном из приспособлений, с другого приспособления снимается обработанная деталь и закрепляется новая заготовка.

3. На столе станка устанавливается поворотный стол с двумя одинаковыми приспособлениями.

По окончании процесса фрезерования деталей, закрепленных в одном из приспособлений, станок останавливают и стол поворачивают на 180° . Снимают обработанные детали и закрепляют новые заготовки в одном приспособлении одновременно с фрезерованием деталей, закрепленных в другом приспособлении.



a



Фиг. 392. Приспособления для непрерывного фрезерования.

Наиболее высокой производительности можно добиться, используя принцип непрерывной обработки при подаче заготовки по кругу.

Пример непрерывного фрезерования показан на фиг. 392, а. На столе вертикально-фрезерного станка вращается диск, имеющий двадцать гнезд. В каждом из гнезд устанавливается заготовка и закрепляется при помощи устройства а. Планка, прикрепленная к нижней части стола, нажимает на конец рычага, вследствие чего кулачок поворачивается и зажимает деталь.

По окончании процесса фрезерования каждой отдельной детали соответствующее гнездо попадает под выемку, и кулачок под действием пружины поворачивается в противоположную сторону, освобождая деталь. При дальнейшем вращении стола деталь автоматически выталкивается, а в освободившееся гнездо поступает из магазина новая заготовка. Другое устройство для непрерывного фрезерования показано на фиг. 392, б.

Спорный в машиностроении вопрос о том, какой из методов — строгание или фрезерование — является более рациональным, в точном приборостроении разрешается в большинстве случаев в пользу фрезерования.

Строгальные станки в цехах предприятий точного приборостроения (за исключением подсобных и экспериментальных цехов) применяются лишь в порядке отдельных исключений.

Фрезеровать плоскость можно двумя способами: цилиндрической или торцевой фрезой.

Торцевая фреза в отличие от цилиндрической имеет, кроме основных лезвий, расположенных по образующей, дополнительные лезвия, расположенные по торцу¹.

При работе цилиндрической фрезой качество поверхности ухудшается по мере затупления лезвий.

При работе торцевой фрезой плоскость создается дополнительными лезвиями; так как последние воспринимают небольшую часть нагрузки, затупляются они значительно позже основных лезвий. Вследствие этого до затупления основных лезвий качество обработанной поверхности не меняется.

Траектория движения лезвия цилиндрической фрезы не располагается в плоскости обработки, вследствие чего на поверхности образуются гребешки. Траектория движения дополнительного лезвия торцевой фрезы располагается в плоскости обработки, что способствует образованию более ровной поверхности. Кроме того, при фрезеровании цилиндрической фрезой точность обработки понижается вследствие ряда причин, основными из которых являются следующие:

1. Отступление фрезы от правильной геометрической формы в осевом направлении, зеркально отображающееся на обрабатываемой плоскости.

¹ Г. М. Рыбкин, Чистовая обработка торцевыми фрезами, «Машиностроитель», 1938, № 2.

2. Неточное расположение зубьев фрезы по окружности вследствие неточностей заточки. Так как при настройке станка обычно ориентируются на наиболее выступающий зуб, то в начале работы он будет снимать соответствующий слой металла. Вследствие большой нагрузки этот зуб быстро изнашивается, благодаря чему изменится глубина резания, а следовательно и размеры детали. В равной степени ухудшится и качество поверхности.

3. Эксцентриситет между осью фрезы и осью фрезерной оправки. В соответствии с принятыми в настоящее время допусками на изготовление фрез и фрезерных оправок (по 2-му классу точности) зазор при посадке для диаметра оправки 22 мм может достигнуть 37 мк.

Биеение фрезы вследствие эксцентриситета между осью фрезы и осью фрезерной оправки вызывает неточности размеров и неровности поверхности.

4. Прогиб фрезерной оправки под действием составляющей усилия резания, направленной перпендикулярно оси фрезы. Этот прогиб бывает в ряде случаев весьма значительным, так как обычно оправки делают такой длины, чтобы они позволяли обслуживать фрезой всю рабочую поверхность стола. При серийном или массовом производстве для уменьшения прогиба целесообразно делать жесткие короткие оправки, предназначенные для определенных работ.

5. Изгиб оправки, происходящий в результате затяжки гайки оправки при наличии торцевого биеения колец.

При обработке плоскости торцевой фрезой достигаются обычно более высокая степень точности и лучшее качество поверхности, чем при цилиндрической фрезе.

Подача при фрезеровании торцевой фрезой может быть допущена больше, чем при цилиндрической. С другой стороны, необходимо учитывать длину врезания.

Обозначим: минимальную длину обрабатываемой детали, при которой основное технологическое время в случае обработки торцевой фрезой меньше, чем в случае обработки цилиндрической фрезой—через L_1 ; длину врезания при торцевой фрезе—через $L_{2т}$; при цилиндрической фрезе—через $L_{2ц}$; подачу при торцевой фрезе—через $s_т$; при цилиндрической фрезе—через $s_ц$.

Основное технологическое время при обработке торцевой фрезой составит:

$$T_{о.т} = \frac{L_1 + L_{2т}}{s_т}$$

При обработке цилиндрической фрезой

$$T_{о.ц} = \frac{L_1 + L_{2ц}}{s_ц}$$

Приравнивая $T_{о.т}$ и $T_{о.ц}$, находим:

$$\frac{L_1 + L_{2т}}{s_т} = \frac{L_1 + L_{2ц}}{s_ц},$$

откуда

$$L_1 = \frac{L_{2T} s_{\Pi} - L_{2\Pi} s_T}{s_T - s_{\Pi}}.$$

Б. Методы получения точно расположенных отверстий

Отверстия, точно расположенные друг по отношению к другу¹, могут быть получены: 1) сверлением по кондукторам; 2) пробиванием штампом; 3) накерниванием штампом и сверлением без кондуктора; 4) сверлением с последующей калибровкой отверстий штампом; 5) сверлением и расточкой по координатному методу; 5) сверлением по методу установочных шаблонов («мастер-плайт»).

Сверление по кондуктору является основным методом получения точного расположения отверстий. Необходимо, однако, иметь в виду, что сверлением по кондукторам выдержать расстояние между отверстиями особенно точно не представляется возможным. Это объясняется: 1) неточностями изготовления самих кондукторов; 2) наличием зазора между сверлом и кондукторной втулкой.

Неточности изготовления кондукторов обуславливаются неизменными и погрешностями в расположении отверстий в корпусе кондуктора (в которые запрессовываются кондукторные втулки) и эксцентриситетом между отверстием втулки и ее наружной поверхностью. Эти погрешности увеличиваются при применении кондукторов со сменными втулками. При наличии зазора между сверлом и кондукторной втулкой ось сверла может не совпасть с осью втулки. Величина зазора между сверлом и кондукторной втулкой обуславливается не только условиями работы, но и допуском по диаметру сверла.

Вследствие указанных причин обычно при сверлении по кондукторам расстояние между центрами отверстий можно выдержать в пределах 0,025—0,05 мм. Поэтому в тех случаях, когда необходимо обеспечить особо точное расположение отверстий, приходится применять другие методы.

Производительность зависит в первую очередь от типа станка и конструкции кондуктора. При выполнении на одношпиндельном станке операции, состоящей из нескольких переходов (сверление отверстия, нарезание, зенкерование, развертывание и т. п., или же сверление нескольких отверстий разных диаметров), обычно приходится много времени затрачивать на смену инструментов. Это время можно значительно уменьшить, применив так называемые быстросменные патроны, позволяющие сменить инструмент, не останавливая станка. Одна из конструкций таких патронов показана на фиг. 393. Сменяемой частью в патроне является втулка 1, в коническое отверстие которой вставляется хвост инструмента. Втулка 1 может вставляться и выниматься из корпуса 2 патрона, который

¹ В массовых производствах сверление выполняется часто при помощи специальных сверлильных станков агрегатного и других типов (в частности, на станках «Мультипл»).

удерживается в шпинделе станка. Вращение втулке 1 передается от патрона посредством шариков 3, входящих в выемки 4 втулки. Чтобы освободить инструмент, нужно поднять вверх наружную гильзу 5 с накаткой по наружной поверхности до тех пор, пока выточка гильзы установится против шариков 3. Втулка 1 освободится, и ее можно будет вынуть из патрона вместе с инструментом.

Кроме времени, связанного со сменой инструментов, в случае использования одношпиндельного сверлильного станка для многопереходных операций, много времени затрачивается на переключение скорости вращения шпинделя при переходе от сверления к нарезанию, развертыванию и т. п.

Оба указанных недостатка отпадают при выполнении многопереходных операций на широко применяемых в точном приборостроении многошпиндельных сверлильных станках со шпинделями, расположенными в один ряд. В каждом шпинделе устанавливается инструмент, предназначенный для выполнения определенного перехода и вращающийся в соответствии с требуемой скоростью.

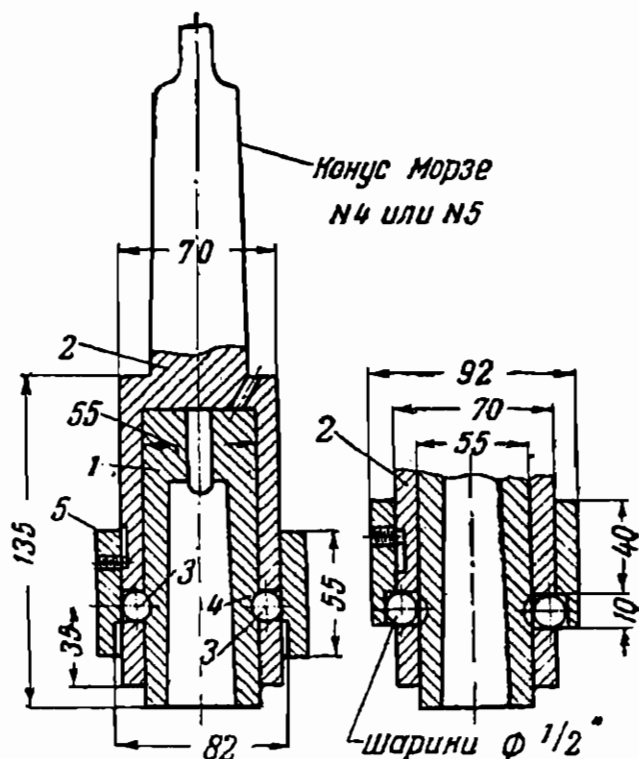
Вместо многошпиндельного станка на одном столе можно установить подряд несколько обычных одношпиндельных станков.

Совмещения переходов достигают, применяя многошпиндельные сверлильные станки, обрабатывающие одновременно несколько отверстий.

В тех случаях, когда сверлить отверстия подряд не представляется возможным, так как они расположены весьма близко друг от друга, сверление производят через несколько отверстий. Вместо многошпиндельных станков можно использовать многошпиндельные сверлильные головки.

Не рассматривая многочисленных конструкций сверлильных головок, заметим, что они подразделяются на два основных типа: 1) с устанавливаемыми шпинделями; 2) с неизменным расположением шпинделей.

Головки с неизменным расположением шпинделей целесообразно применять лишь в тех случаях, когда каждую из них можно в достаточной степени загрузить обработкой одной детали, или же нескольких деталей, но с отверстиями, одинаково расположенными. Преимущества этих головок по сравнению с головками с устанавливаемыми шпинделями заключаются в более простой конструкции и большей точности расположения отверстий.



Фиг. 393. Быстросменный патрон.

При сверлильных работах можно также использовать принцип, аналогичный в некоторой степени принципу непрерывного фрезерования при помощи круговой подачи. Для этого сверлильный станок должен иметь круглый рабочий стол, на котором располагается ряд приспособлений с обрабатываемыми деталями. После поворота стола на определенный угол под каждый из шпинделей станка подводится деталь для выполнения соответствующего перехода — сверления, нарезания, развертывания и т. п. Если требуется просверлить несколько отверстий в детали, можно применить многошпиндельные сверлильные головки.

Во время рабочего хода вынимаются обработанные детали и устанавливаются новые заготовки, так что непроизводительно теряется лишь время, потребное для поворота стола от одной позиции к другой.

Пробивание отверстий штампом является методом весьма высокопроизводительным, но обладает следующими недостатками:

- 1) высокая стоимость многопуансонного штампа;
- 2) при малых диаметрах отверстий и большой толщине материала ненадежность пуансонов и их частые поломки;
- 3) рваные края отверстий.

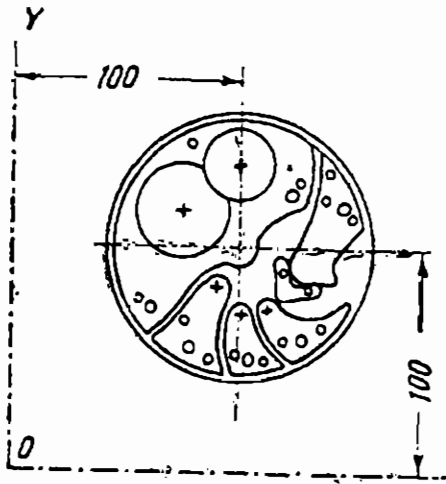
Вследствие указанных причин этот метод, несмотря на высокую производительность, в большинстве случаев является менее рациональным, чем накернивание отверстий штампом и сверление их без кондуктора. При последнем методе точность расположения отверстий зависит от точности штампа и от правильности заточки сверла. Решающее значение имеет точность совпадения вершины сверла с осью вращения, вследствие чего сверла следует затачивать на специальных станках.

Сверление по координатам на специальных сверлильно-разметочных станках типов «SIP», «Гаузер» и других обеспечивает наивысшую из всех существующих методов сверления степень точности (до 0,002 мм). Вследствие, однако, малой производительности и дороговизны этот метод применяется преимущественно в инструментальном деле, хотя может быть использован и в производственных цехах при изготовлении небольшого количества деталей с высокой точностью расположения отверстий.

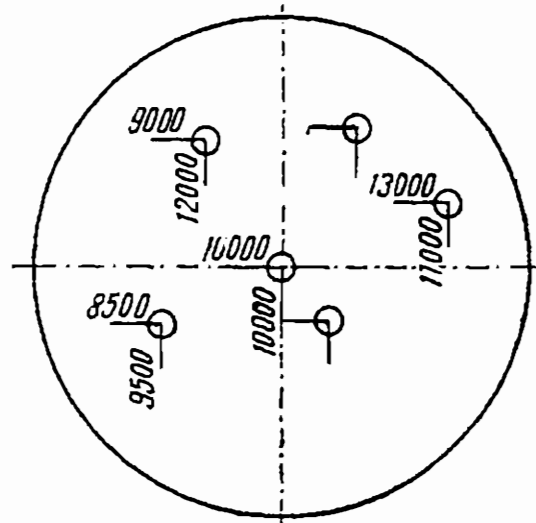
Сверление по координатам осуществляется двумя способами: по системе прямоугольных и полярных координат. В обоих случаях положение каждого из центров отверстий обозначается двумя числами, определяющими соответствующие координаты.

При прямоугольной системе координат начало координат обычно располагается вне детали с таким расчетом, чтобы координаты центров всех отверстий были положительными, что облегчает расчеты и уменьшает возможность ошибок. Например, в часовой промышленности, где диаметр платинок не превышает 200 мм, начало координат располагают так, чтобы обе координаты центра платинки были равны 100 мм (фиг. 394).

На чертежах координаты надписываются над двумя взаимно перпендикулярными отрезками (фиг. 395). Если деталь подвергается последовательно разметке, сверлению и расточке или развертыванию, то при разметке следует записывать показания дисков станка, соответствующие центру каждого из отверстий.



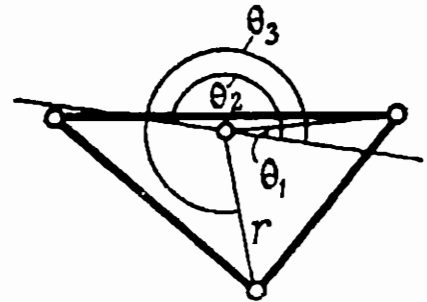
Фиг. 394.



Фиг. 395.

После разметки всех отверстий головку с керном заменяют сверлильным шпинделем и, не нарушая установки детали на станке, по записанным показаниям дисков вновь последовательно устанавливают стол в требуемое положение и сверлят накерненные отверстия. Таким же образом, заменяя сверло резцом или разверткой, выполняют и растачивание или развертывание.

Для сверления по методу полярных координат к столу сверлильно-разметочного станка крепится круглый поворотный стол. Если специальных сверлильно-разметочных станков на предприятии нет, сверление по методу полярных координат можно выполнять на любом станке, применив обычный круглый поворотный стол, имеющий 360 делений для грубой установки и лимб на червяке, разделенный на градусы, минуты и доли минуты. Круглый стол должен перемещаться прямолинейно с отсчетом этих перемещений по лимбу на подающем винте.



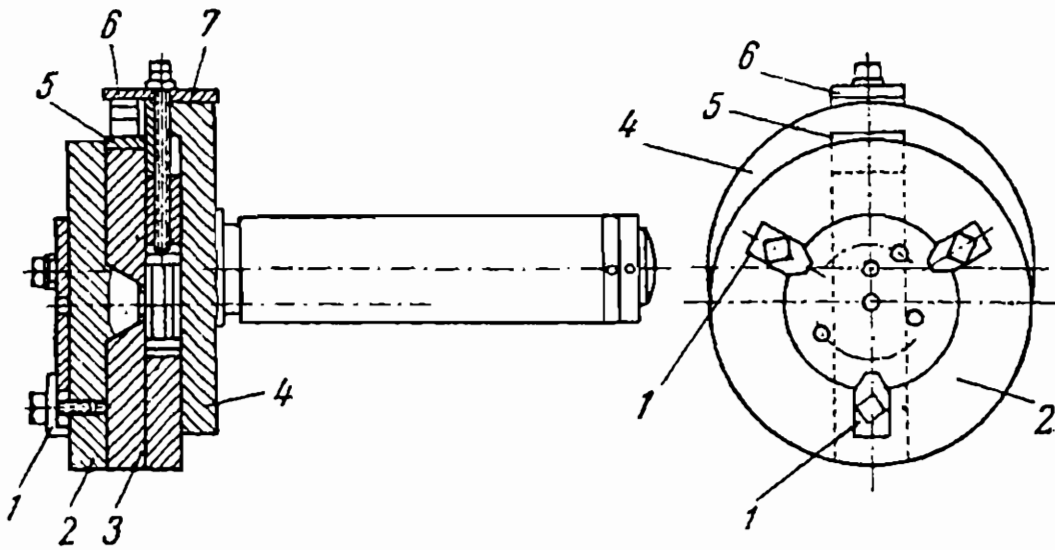
Фиг. 396.

Предположим, например, что требуется просверлить три отверстия (фиг. 396). Так как через всякие три точки можно провести окружность, находим точку, равноотстоящую от центров этих трех отверстий. Деталь устанавливаем так, чтобы эта точка находилась в центре круглого стола на расстоянии от оси сверлильного шпинделя, равном радиусу окружности, на которой лежат центры трех отверстий. Для сверления этих отверстий нужно стол повернуть на углы θ_1 , θ_2 и θ_3 .

Если отверстий больше трех, то следует выбрать три отверстия (желательно наиболее ответственные) и просверлить эти отверстия

в первую очередь описанным методом при неизменном радиальном положении.

Наиболее благоприятное расположение, когда центры всех отверстий находятся на одной окружности. В ряде случаев может даже оказаться целесообразным, если это допустимо по конструктивным условиям, внести соответствующие изменения в чертежи деталей.



Фиг. 397. Устройство для сверления по методу координат на токарном станке.

На фиг. 397 представлено устройство для сверления по методу полярных координат на обычном токарном станке. Деталь крепится к диску 2, который может поворачиваться относительно диска 3 такого же диаметра. Диск 3 может перемещаться радиально по направляющим диска 4. На окружности диска 2 нанесены деления, а на окружности диска 3 — нониус, с помощью которого можно определить угол поворота одного диска относительно другого с точностью до 1".

Диск 3 устанавливается так, чтобы укрепленный на нем стальной шлифованный упор 5 вплотную подошел к такому же упору 6, укрепленному на диске 4. Деталь устанавливается таким образом, чтобы точка, принимаемая за начало координат, лежала на оси шпинделя.

Для сверления и расточки какого-либо отверстия диск 2 поворачивается относительно диска 3 на соответствующий полярный угол, после чего диск 3 перемещается относительно диска 4 на отрезок, равный радиусу-вектору. Для этого между упорами 5 и 6 помещают микрометр-штихмасс или, что обеспечивает большую точность, эталонные плитки.

Сверление по методу установочных шаблонов, известному на заводах под названием «мастер-плайт»¹, применяется в тех случаях, когда требуется выдержать расположение отверстий более точно, чем этого можно добиться при сверлении по кондукторам, а количество деталей, подлежащих обработке, значительно, вследствие чего примене-

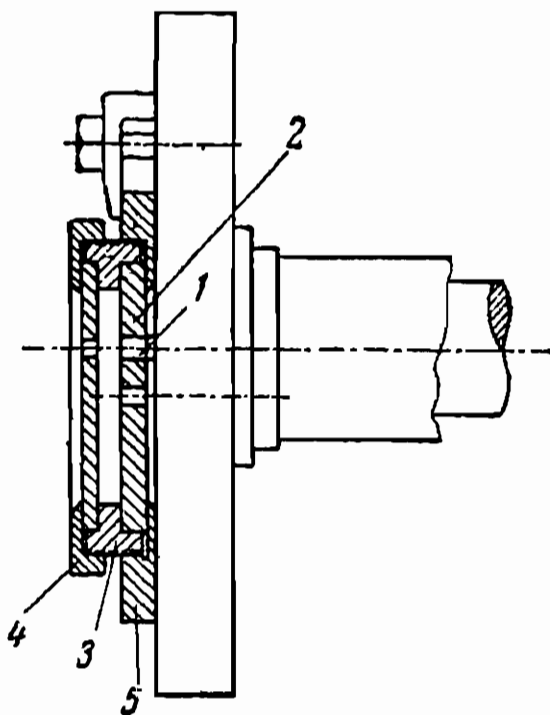
¹ От английского «master plate».

ние сверлильно-разметочного станка было бы нерациональным. Сущность этого метода можно уяснить из схемы, показанной на фиг. 398. Деталь, подлежащая сверлению, свинчивается при помощи кольца 3 и крышек 4 и 5 со специальным шаблоном 2. Этот шаблон, носящий название «мастер-плайт», представляет собою стальную закаленную шлифованную плитку с отверстиями, расположение которых должно точно соответствовать требуемому расположению отверстий у обрабатываемой детали. Отверстия шаблона 2 делаются на сверлильно-разметочном станке и затем шлифуются. Диаметр отверстий шаблона не связан с диаметром отверстий у детали, но все отверстия у шаблона должны быть строго одного диаметра (с допуском 0,001—0,003 мм).

Шаблон 2, свинченный с деталью, надевается тем из отверстий, которое соответствует отверстию у детали, подлежащему сверлению, на точно отшлифованный закаленный палец, впрыснутый в планшайбу, навинченную на шпиндель токарного станка. Крышка 5 закрепляется на планшайбе прихватами. Сверление, а также растачивание, производятся инструментами, закрепленными в задней бабке станка.

Просверлив одно отверстие, освобождают прихваты и, не развинчивая крышек 4 и 5, надевают шаблон на палец 1 следующим отверстием.

При сверлении описанным методом достигается высокая степень точности расположения отверстий. Это обуславливается следующими причинами: 1) при сверлении на токарном станке ось отверстия совпадает с осью шпинделя; 2) тщательное соблюдение диаметров отверстий в шаблоне и диаметра пальца 1 позволяет весьма точно центрировать отверстие, которым шаблон надевается на палец, относительно оси шпинделя; 3) диаметры отверстий в шаблоне, как указано выше, расположены друг по отношению к другу весьма точно.



Фиг. 398. Приспособление для сверления по методу «мастер-плайт».

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПОКРЫТИЯ

Металлические части изделий (приборов, аппаратов, инструментов) в процессе эксплуатации подвергаются самым разнообразным воздействиям и механическим, и химическим. В результате действия внешних химических реагентов (влаги, растворов солей, кислот, различных газов и т. д.) происходит коррозия, т. е. постепенное разрушение поверхности изделий. Особенно легко корродируют черные металлы, но вообще коррозии в той или иной степени подвержены почти все металлы.

Большинство приборов подвергается, кроме того, механическим воздействиям. Даже захватывание руками ведет постепенно к стиранию поверхностного слоя (пример — дверные ручки, поручни в трамваях и т. д.). В некоторых случаях эти механические воздействия настолько серьезны, что даже специальные стали снашиваются сравнительно в короткий срок (примером могут служить измерительные калибры).

По данным Шотландского института металлов, ежегодно от коррозии пропадает до 40% находящегося в эксплуатации металла.

Металлические приборы необходимо защищать от химических и механических внешних воздействий.

Так как удалить причину, вызывающую коррозию, обычно невозможно, а применить антикоррозионный материал также не всегда удается или из-за высокой стоимости его (легированная сталь, драгоценные металлы), или из-за недостаточно хороших механических свойств, то чаще всего прибегают к покрытиям поверхности изделий.

Характер покрытия следует указывать на чертеже детали. Излагаемые ниже сведения имеют целью дать возможность выбрать метод покрытия при конструировании деталей точных приборов и предусмотреть соответствующие операции при разработке технологических процессов. В отличие от прочих разделов данной главы здесь дается не только сопоставление различных методов покрытий, но вкратце поясняется и сущность самих процессов. Это вызвано тем, что вопрос о покрытиях не затрагивается ни одной из дисциплин, входящих в учебный план подготовки специалиста по точному приборостроению.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Если покрытие наносится с антикоррозионной целью, то при выборе покрытия руководствуются обычно способностью металла покрытия противостоять данным реагентам или основывают свой выбор на электрохимической защите изделия металлом покрытия.

Если покрытие наносится с декоративной целью, принимаются во внимание цвет металлопокрытия, способность принимать полировку или, наоборот, матирование, а также способность металла покрытия не изменять свой внешний вид при условиях эксплуатации.

В том случае, когда основной металл не обладает необходимыми физическими свойствами (например, твердостью, электропроводностью), на поверхность изделия наносится металл, в достаточной мере обладающий этими свойствами.

Применение металлических покрытий для защиты изделий от коррозии, механических воздействий или с декоративной целью основано на том, что металлические покрытия, наносимые только на поверхность изделия, придают поверхности свойства металла покрытия. Конструктор, таким образом, имеет возможность применить в качестве основного металла такой, какой отвечает необходимым требованиям стоимости, возможности обработки и т. д. Например, широкое применение черного металла с заменой им дефицитной меди стало возможным только с применением металлопокрытий.

Из существующих способов нанесения металлической пленки на поверхность изделий наиболее распространенным является гальваностегический. Его преимущества заключаются в возможности получения строго определенной толщины покрытия с точностью до микрона и (при надлежащей квалификации гальваностега) в получении определенных физических и химических свойств отлагаемого металла, зависящих прежде всего от структуры и чистоты последнего.

Кроме того, гальваностегические процессы обычно проводятся при низкой температуре ($20-45^\circ$, реже $100-110^\circ$), что также является большим преимуществом этого метода сравнительно, например, с горячим, при котором изделия погружаются в расплавленный металл.

Как в выборе покрытия, так и в самих гальваностегических процессах исключительно важную роль играет потенциал металла и его положение в электрохимическом ряду напряжений. Потенциал металла определяется его упругостью растворения (т. е. стремлением перейти в раствор), зависящей от природы данного металла, и противоположно направленной ей силой — осмотическим давлением раствора, в котором он находится. В некоторых строго определенных условиях металлы можно распределить по величине их нормальных потенциалов в ряд (ряд Нернста), принимая за нулевой потенциал — потенциал водорода (табл. 31).

Как видно из этого ряда, некоторые металлы имеют положительный потенциал; это так называемые благородные металлы; другие — отрицательный; это — неблагородные металлы.

Ряд напряжений

Элемент	Ион	Потенциал	Элемент	Ион	Потенциал
Литий	Li	-3,02	Олово	Sn	-0,14
Калий	K	-2,92	Свинец	Pb	-0,130
Натрий	Na	-2,71	Водород	H	±0,000
Магний	Mg	-1,87	Сурьма	Sb	+0,2
Марганец	Mn	-1,1	Висмут	Bi	+0,226
Цинк	Zn	-0,76	Мышьяк	As	+0,3
Хром	Cr	-0,56	Медь	Cu	+0,345
Железо	Fe	-0,44	Серебро	Ag	+0,808
Кадмий	Cd	-0,40	Ртуть	Hg	+0,86
Кобальт	Co	-0,255	Золото	Au	+1,38
Никель	Ni	-0,250	»	Au	+1,50

Потенциал металла определяет в известных пределах стойкость металла против коррозии. Из повседневной практики известно, что золото, серебро, платина, т. е. благородные металлы, менее подвергаются коррозии, не разрушаются под действием атмосферы. Такие же металлы, как железо, цинк, поддаются коррозии и разрушаются значительно быстрее.

Следует, однако, помнить, что потенциал металла может изменяться в зависимости от многих факторов: концентрации ионов данного металла в растворе, растворителя, продуктов коррозии и т. д.

Два металла, находящиеся в контакте, в присутствии электропроводящей жидкости образуют гальванический элемент с разностью потенциалов, зависящей от природы металлов и электролита. Металл с потенциалом в данных условиях более отрицательным является анодом, т. е. металлом растворяющимся. Скорость процесса растворения зависит от разности потенциалов: чем эта разница больше, тем растворение идет интенсивнее.

Если металл покрытия имеет более отрицательный (в данных условиях) потенциал, чем потенциал основания, покрытие называется анодным, а если наоборот, то катодным¹.

Анодные покрытия наиболее надежны, защищая основной металл от коррозии не только механически, но и электрохимически. При образовании местной пары растворимым металлом является покрытие, и в этом месте корродировать будет покрытие, основной же металл останется незатронутым. Катодные же покрытия защищают основной металл лишь механически, изолируя его от воздействия атмосферы или каких-либо химических реагентов. В случае обнажения основного металла и образования в данном месте

¹ Эти термины предусматривают, однако, лишь взаимоотношения металла основания и металла покрытия, но ни в какой мере не отражают процесса получения покрытия (все металлические покрытия при гальваностегии получают на катоде и в этом смысле являются катодными).

гальванической пары анодом, т. е. растворяющимся электродом, будет основной металл, как обладающий более отрицательным потенциалом. Катодное покрытие не только не будет защищать в этом случае основной металл, но, наоборот, будет усиливать разрушение его.

Катодными покрытиями для черных металлов являются никелевые, медные, оловянные, анодными же — цинковые и, в некоторых случаях, кадмиевые.

Требования, предъявляемые к анодным и катодным покрытиям, различны. Отсутствие пор желательнее для анодных покрытий, для катодных же абсолютно необходимо.

Поры в покрытиях образуются под влиянием различных причин: условий процесса покрытия, природы металла покрытия и основного металла, его обработки, степени очистки поверхности от загрязнений и т. д.

Пористость гальваностегических покрытий является одним из наиболее широко распространенных недостатков. Почти все покрытия в той или иной степени пористы.

Одной из существенных причин, вызывающих пористость и отсутствие сплошности, является недостаточная очистка поверхности перед гальваностегическим покрытием от пыли, окислов, жировых пленок и тому подобных не проводящих или плохо проводящих ток загрязнений. Эти загрязнения мешают металлу осаждаться сплошным слоем. Покрытие, осаждающееся на недостаточно очищенную от загрязнений поверхность, как правило, плохо сцепляется с основным металлом. Этот недостаток часто выявляется только впоследствии, например, при механической деформации изделия (изгиб, распиловка, удар) или, чаще, при нагревании в горячей воде. При этом в покрытии образуются пузыри, вздутия, и оно легко снимается с поверхности.

Наличие посторонних твердых частичек в гальванической ванне — пыли, шлака, песка — вызывает образование пористого грубого осадка.

Некоторые металлы при осаждении в нормальных условиях электролиза дают пористые покрытия даже при большой толщине, например никель, хром; другие же металлы уже в тонких слоях (~5μ) дают малопористые или беспористые покрытия, например медь, серебро.

Отливки из серого чугуна имеют грубую, бугристую поверхность и большую пористость. Пористость чугуна особенно вредно отражается на качестве и защитных свойствах покрытий. Тончайшие поры металла обладают капиллярной способностью всасывать попадающие на поверхность жидкости. Такой жидкостью могут быть промывные воды, растворы щелочей, кислот, электролита, применяемые при обезжиривании, травлении, покрытии и промывках поверхности. Так как чугун — металл неоднородный и имеет включения графита, то в присутствии жидкости в порах образуются микроэлементы «графит — железо», что поведет к растворению железа. Под давлением выделяющегося водорода и продук-

тов коррозии покрытие вспучивается, отслаивается, образуются пузыри, пятна.

Такое же явление наблюдается на цинковых изделиях, отлитых под давлением, которые часто при хорошем внешнем виде имеют значительную пористость. Цинк легко растворяется даже в слабых щелочах и кислотах, причем продукты коррозии, образующиеся в порах, ведут к отслаиванию покрытия. Характерными дефектами покрытий цинкового литья являются пузыри или вздутия и белые точки и пятна в местах пор покрытия.

Полировать поверхность перед покрытием не обязательно, но необходимо устранить сильную шероховатость, заусенцы, глубокие царапины и тому подобные дефекты, так как такое состояние поверхности не позволяет полностью очистить ее от загрязнений, что приводит к пористости, плохому сцеплению покрытия с основным металлом и т. п.

При самой аккуратной работе не удастся получить беспористых покрытий такими металлами, как олово, никель, хром, по крайней мере в производственных условиях. Это обстоятельство приходится всегда учитывать, и в случаях, когда условия эксплуатации требуют от покрытия высокой коррозионной устойчивости, следует прибегать к многослойным покрытиям, например применять толстую медную прослойку.

Специальные нержавеющие стали (хромистые, высокоуглеродистые), алюминий и его сплавы и некоторые другие металлы трудно поддаются покрытию, так как образующиеся на поверхности их тончайшие пассивные пленки окисей препятствуют прочному сцеплению с покрытием. Эти металлы требуют специальной подготовки поверхности перед покрытием.

Электроотрицательные металлы — цинк, алюминий, их сплавы, железо не могут быть покрыты более положительными металлами, например медью, из простых кислых электролитов. При покрытии этих металлов прибегают к многослойным покрытиям.

Большим недостатком гальванических покрытий является невозможность получения равномерного по толщине слоя на всех участках поверхности изделий сложной формы. Способность электролитической ванны давать равномерный по толщине осадок называется рассеивающей способностью. Чем выше рассеивающая способность ванны, тем равномернее откладывается металл. Рассеивающая способность зависит от природы металлопокрытия, состава электролита, режима процесса, положения изделия в ванне во время покрытия, конфигурации изделия и т. д. При низкой рассеивающей способности ванны неравномерности толщины слоя можно наблюдать даже на изделиях простой формы, например на пластинках. Наиболее толстый слой металла осаждается на углах ближе к ребрам, т. е. там, где концентрируются силовые линии, в середине же покрытие имеет наименьшую толщину. Если покрывают изделие сложной конфигурации, например полые цилиндры, трубки, внутренние углы и т. д., то неравномерность толщины еще больше, а внутренние части, недоступные силовым линиям, не покрываются совершенно.

Это обстоятельство необходимо иметь в виду, особенно в тех случаях, когда участки поверхности, покрывающиеся более тонким слоем, являются рабочими поверхностями, например трущимися или подвергающимися действию коррозионных агентов. Вследствие этого конструкция изделий должна быть такова, чтобы места, подлежащие покрытию, были доступны. В ваннах со средней рассеивающей способностью обычно не покрываются внутренние острые углы, внутренние стенки прямых трубок, диаметр которых меньше 1—1,5 см и длина больше 7—8 см, закатанные швы и загнутые трубки и т. д. Известные трудности представляет также покрытие острых граней, игл, режущих частей, так как осаждающееся на таких участках покрытие имеет значительно большую толщину и несколько иные свойства, чем на всей поверхности (здесь оно более хрупко, склонно к выкрашиванию).

Не рекомендуется покрывать изделие в собранном виде даже в том случае, когда оно простой формы, так как в местах соединений металл остается непокрытым.

Некоторые металлы осаждаются в мелкокристаллической структуре, другие же могут быть и крупнокристаллическими и мелкокристаллическими в зависимости от состава электролита и режима процесса.

Покрытиям с мелкокристаллической структурой свойственны блеск и нарастающая хрупкость. Факторы, повышающие катодную поляризацию, ведут к получению мелкой структуры, а следовательно, более твердых осадков. Этими факторами являются высокая плотность тока, концентрация электролита, низкая температура, добавки в электролит коллоидов и комплексообразователей. Однако при электролизе необходимо принимать во внимание действие каждого фактора не изолированно, а в комплексе с другими.

Блеск и цвет покрытия имеют большое значение при выборе покрытия, особенно для декоративной цели. Некоторые металлы, например хром, осаждаясь на предварительно отполированную поверхность при обычных условиях электролиза, придают ей зеркальный блеск и не требуют дополнительной полировки. Другие металлы при осаждении почти всегда дают матовую поверхность (олово, свинец).

Дополнительная полировка покрытий значительно усложняет и удорожает производство, и вопрос получения блестящих покрытий непосредственно из ванн является предметом исследований последних лет. Широкого промышленного применения эти способы, однако, еще не получили, и в настоящее время покрытия только очень немногих металлов получают непосредственно из ванн блестящими и не требующими полировки (хром).

Важным свойством металла является способность сохранять блеск, сообщенный его поверхности тем или иным способом. Наиболее ярко выражено это свойство у хрома. Хром не теряет блеска даже при нагревании до 400—450°. Никель сравнительно стоек, но все же со временем тускнеет. Серебро сохраняет блеск лишь при отсутствии в воздухе сернистых соединений, незначительные коли-

чества которых вызывают потускнение и потемнение поверхности серебра.

Свойства покрытий не тускнеть особенно приходится учитывать в производстве прожекторов и различных отражателей в оптических приборах.

Как было упомянуто выше, поверхность изделий перед гальваностегическим покрытием должна быть тщательно обработана.

Подготовка поверхности состоит из механической обработки (шлифовки и полировки), обезжиривания и травления.

Хорошие результаты дает обработка поверхности на пескоструйных аппаратах. Поверхность металла очищается от окислов и становится шероховатой.

После механической обработки поверхность обезжиривают, чтобы удалить всевозможные жировые пленки. Обезжиривание должно предшествовать травлению, так как жировые загрязнения мешают равномерному смачиванию и растворению окислов в кислотах.

Обезжиривание производится химически и электролитически в растворах щелочи или солей щелочных металлов. Иногда обезжиривание производят в органических растворителях.

Травление применяют для снятия окислов перед покрытием или как окончательную отделку (например для меди, алюминия). Травильными растворами являются растворы кислоты, некоторых солей и иногда щелочей.

При травлении черных металлов возможно выделение водорода, который диффундирует в металл и ухудшает его физические свойства (вызывает хрупкость). Поэтому травить изделия, от которых требуются определенные физические свойства, следует осторожно. Стальные пружины, изделия из листового материала и т. п. недопустимо травить электролитическим способом на катоде или в кислотах без специальных добавок, задерживающих выделение водорода.

Как после обезжиривания, так и после травления и покрытия изделия тщательно промывают. Щелочные растворы лучше отмываются в горячей воде; кислые хорошо отмываются в холодной.

Изделия, подвергающиеся механической обработке на шлифовальных и полировальных станках; перед покрытием шлифуют, полируют, обезжиривают, промывают, декапируют и еще раз промывают.

Изделия, подвергающиеся обработке на пескоструйном аппарате, перед покрытием обезжиривают, промывают, сушат, обрабатывают песком, промывают, декапируют, промывают.

Обезжиривают и сушат лишь изделия сильно загрязненные или влажные.

Изделия из цветного металла, не подвергающиеся шлифовке и полировке, но хорошо протравленные, перед покрытием обезжиривают, промывают, предварительно травят, промывают в горячей воде и сушат, травят вторично, промывают.

Изделия из черного металла, не подвергающиеся шлифовке и полировке, перед покрытием обезжиривают, промывают, травят, промывают еще раз, очищают от шлама, промывают, декапируют, промывают еще раз.

Основным фактором, влияющим на выбор покрытия, являются условия эксплуатации. Прежде всего необходимо уточнить, в каких условиях будет работать данное изделие:

1) подвергается ли изделие механическим воздействиям и каким именно (трение, удар, изгиб);

2) какие корродирующие агенты действуют на изделие (атмосферная влага, почва, кислоты, щелочи, газы и т. д.);

3) при какой температуре работает изделие и каковы ее колебания;

4) требования, предъявляемые к внешнему виду изделия;

5) специальные требования, предъявляемые к покрытию (например оптические свойства).

Если изделие подвергается механическим воздействиям, например трению, необходимо применять покрытия с повышенной твердостью по возможности большей толщины. Наибольший эффект в этом случае дают хромовые покрытия, значительно повышающие сопротивление стиранию.

Покрытия изделий, работающих на удар и изгиб, должны быть эластичны, нехрупки и иметь хорошее сцепление с основным металлом. Толстые покрытия непригодны, потому что, как правило, с повышением толщины покрытия более склонны к отслаиванию.

Если покрытие применяется только как защита от коррозии, причем изделие непрерывно или часто подвергается действию воды, более надежными являются «анодные» покрытия. Например, изделия из черного металла рационально покрывать цинком. Чем толще слой цинка и чем меньше в нем пор, тем надежнее защита и тем покрытие долговечнее. Для защиты от коррозии изделий из черного металла, находящихся в непосредственном соприкосновении с морской водой, рекомендуется применять кадмиевые покрытия.

При действии более сильных реагентов, например растворов кислот, покрытие цинком непригодно, так как цинк легко реагирует с кислотами, давая растворимые соли. В таких случаях приходится применять покрытия, более устойчивые против действия данного реагента; например, при действии раствора серной кислоты — свинцовые покрытия.

Однако здесь имеется другая опасность: свинцовое покрытие, как «катодное», в случае какого-либо повреждения или наличия пор вызовет усиленную коррозию изделия. Поэтому, применяя «катодные» покрытия, необходимо обеспечить беспористость их, увеличивая толщину слоя или применяя прослойку из другого, менее пористого металла. Если беспористость обеспечить нельзя или при эксплуатации изделие подвергается механическим воздействиям, и покрытие может быть повреждено, рациональнее применять «анодное» покрытие, особенно если его можно время от времени возобновлять, так как при этом нет риска потерять самое изделие.

В качестве декоративных покрытий, работающих в мягких условиях, чаще всего применяются никелевое, хромовое, реже — медное с последующей оксидировкой, а иногда применяются серебро и золото. Если изделие работает в более суровых условиях, например

подвергается действию атмосферы, от покрытия требуется не только красивый внешний вид, но и хорошие защитные свойства. Сплошность покрытия достигается повышением толщины слоя и применением беспористых прослоек. В многослойных покрытиях (медь-никель-хром) хром значительно улучшает свойства покрытия, придавая ему твердость и химическую стойкость.

Изделия, работающие при высокой температуре, нельзя покрывать легкоплавкими и поддающимися окислению металлами, так как высокая температура ведет к усиленному окислению поверхности. Кроме того, высокая температура при плохой подготовке поверхности перед покрытием вызывает отслаивание покрытия, образование вздутий. Жароустойчивым покрытием является хром, не меняющий своего цвета и блеска даже при 400—450°.

Низкая температура не опасна для большинства металлов и, как правило, химические процессы при низкой температуре протекают медленнее. Исключением является олово, дающее при низких температурах серую модификацию («чума»).

2. ВИДЫ ПОКРЫТИЙ

В настоящее время вполне разработанными и получившими промышленное применение являются следующие процессы: меднение, латунирование, никелирование, лужение, хромирование, цинкование, кадмирование, свинцевание, серебрение, золочение. Покрытия редкими металлами (платиной, родием, вольфрамом и некоторыми сплавами) хотя и разработано более или менее полно в лабораторных условиях и частично применяется в производстве, однако не получило широкого распространения вследствие или высокой стоимости этих металлов или сложности процессов.

М е д н е н и е

Химические свойства меди ограничивают применение ее для окончательной отделки изделий с декоративной целью, так как медь под действием сернистых, углекислых и хлористых соединений легко окисляется, теряя свой цвет и блеск. Однако свойство меди под действием различных химических реагентов давать цветные окислы иногда используется для декоративных целей. Меднение с последующей оксидировкой и лакировкой может быть применено для неотвечественных изделий, нетрущихся и не подвергающихся химическим реагентам.

Медные покрытия обычно применяются как подслои под никель, хром, иногда под золото, серебро. Медь обладает весьма ценными для этой цели свойствами: медные покрытия прекрасно полируются и могут быть доведены до зеркального блеска. Уже в тонких слоях эти покрытия беспористы, толщина слоя меди может быть получена почти любой без ухудшения физических свойств.

Кроме того, медные покрытия применяются для защиты от цементации в гальванопластике, в производстве так называемого «биметалла». Для меднения пользуются, главным образом, кислыми, серно-кислыми и цианистыми электролитами. Цианистые электролиты

обладают высокой рассеивающей способностью и дают осадки с тонкой структурой. В этих электролитах можно покрывать электроотрицательные металлы. К недостаткам этих ванн относятся: ядовитость, необходимость частой корректировки ванны, так как она нестойка, низкие выходы и плотность тока, снижающие производительность этих ванн.

Цианистые электролиты применяются для меднения черных металлов — железа, стали, а также цинка, алюминия и их сплавов, так как эти металлы в силу своих физико-химических свойств не могут быть омеднены непосредственно в кислом электролите.

Цианистый электролит («ванна Шевреля») отличается простотой состава, его относительным постоянством и доступностью исходных материалов.

Ванна Шевреля содержит

Cu	10 — 15 г/л
KCN (или NaCN) своб.	10 — 15 »

Кислые медные электролиты дают осадки с более крупной структурой, обладают более низкой рассеивающей способностью и не должны применяться для непосредственного омеднения сильно электроотрицательных металлов. Преимуществами этих ванн являются простота состава и постоянство электролита, высокая плотность тока, высокий процент использования тока и сравнительно большая производительность.

Кислые электролиты применяются для получения толстых слоев отложений, например для дальнейшего наращивания медного слоя, полученного в цианистом электролите.

Примером кислой медной ванны может служить следующий электролит:

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	200—250 г/л
H_2SO_4 (уд. в. 1,84)	50—70 »

Н и к е л и р о в а н и е

Высокие свойства электролитического никеля объясняют широкую область применения никелевых покрытий.

Никелевые покрытия обладают значительной твердостью. В зависимости от состава электролита и условий электролиза твердость никелевых осадков по Бринелю колеблется от 140 до 400¹. Никелевые покрытия применяются для увеличения твердости поверхности, например для покрытия стереотипов в полиграфической промышленности.

Никель относится к электроотрицательным металлам, т. е. обладает высокой упругостью растворения, но пассивная пленка, образующаяся на никеле, предохраняет его от действия атмосферного воздуха, щелочей и кислот. Никель легко полируется и долго не

¹ Macnaughtan and Hammond. «Trans. Am. Far. Soc.», 1931, 27, 10.

тускнеет, сохраняя блеск, сообщенный ему полировкой. Вследствие способности противостоять воздушной коррозии никель применяется, главным образом, для декоративных целей.

Так как по отношению к железу никель является электроположительным металлом, т. е. «катодным» покрытием, то в случае обнажения основного металла, например железа, при случайных повреждениях или пористости никелевых покрытий коррозия железа будет протекать особенно интенсивно. Принимая во внимание, что никелевые покрытия, как правило, получают более или менее пористыми, не следует покрывать никелем железо, если изделие работает в условиях влаги. Пористость никеля значительно понижается с толщиной, однако толщина никелевого покрытия в редких случаях превышает 0,025 мм, так как в более толстых слоях осадки становятся напряженными и склонными к отслаиванию.

В настоящее время широко применяют многослойные покрытия (медь-никель, никель-медь-никель, медь-никель-хром и т. п.), если к покрытию предъявляются и декоративные и антикоррозийные требования. Для защиты железа от корродирующих агентов его предварительно покрывают беспористым слоем меди. Детальные исследования стойкости никелевых и многослойных покрытий, проведенные¹ на многочисленных образцах в разнообразных условиях, показали, что общая толщина двуслойного покрытия из меди и никеля для изделий, предназначенных для внешней службы, например автомобильные части, должна быть не менее 0,025 мм (медь—15—20 м, никель—5—10 м), в более суровых климатических условиях—0,05 мм, для изделий, находящихся в закрытом помещении,—0,013 мм.

Применение медной прослойки позволяет также экономить никель.

Для защиты латунных и медных изделий применяются более тонкие слои никеля: для внешней службы—0,013 мм, для внутренней—0,006 мм.

Для ускорения процесса электролиза посредством повышения плотности тока в последнее время стали применять более концентрированные ванны (до 400—500 г/л $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), а также ванны с большей кислотностью ($\text{pH} = 2,0$).

Никель, осажденный из обычных ванн, не имеет блеска, но хорошо поддается полировке. Применение специальных добавок к никелевому электролиту дает возможность получать блестящее покрытие непосредственно при электролизе; однако широкого промышленного применения этот процесс еще не получил.

При плотности тока 1 А/дм² за 38 мин. осаждается слой никеля в 0,01 мм.

Никелевые электролиты очень чувствительны к загрязнениям. Уже небольшие примеси медных, а особенно, цинковых солей выводят никелевую ванну из строя. Азотная кислота и ее соли также являются вредными примесями: в их присутствии выход тока падает,

.. Strausser and Brenner-Montly. «Rev. Am. Electropl. Soc.», 1935, 22.

а покрытие приобретает желтый оттенок. Так как загрязнения попадают в ванну, главным образом, из анодов и солей, идущих на приготовление электролита, к чистоте их должны предъявляться серьезные требования.

Применяемые для никелирования электролиты довольно разнообразны. Типичным представителем наиболее распространенных электролитов является следующий:

$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200—250 г/л
H_3BO_3	30 »
NaCl	5 — 10 »
Na_2SO_4	50 — 100 »

При этом необходимо непрерывно или периодически фильтровать электролит.

Х р о м и р о в а н и е

К особенностям электролитических покрытий из хрома следует отнести их химическую и механическую стойкость. Пассивная пленка, образующаяся на поверхности хрома, защищает его от взаимодействия со многими реагентами: хром противостоит азотной кислоте, органическим кислотам, сероуглероду. Осажденный на полированную поверхность, хром имеет зеркальный блеск с высоким коэффициентом отражения (около 70%).

Хром обладает замечательным свойством не тускнеть и сохранять свой блеск даже при высокой температуре (до 400—450°). Твердость хрома и сопротивление стиранию исключительно высоки: хромирование измерительных калибров повышает срок службы их в 5—10 раз.

Хромовое покрытие, однако, не может служить защитой для железа, так как благодаря пассивной пленке потенциал хромового покрытия становится положительнее потенциала железа. Хромовое покрытие в отношении железа является «катодным» покрытием, защищающим железо, как было выше разобрано, только механически, т. е. при условии полной изоляции основного металла от корродирующих агентов. Недостатками хромовых покрытий являются значительная пористость и специфические трещинки; пористость их с увеличением толщины возрастает; минимальная пористость бывает при толщине около 0,0006 мм.

Поэтому хромирование без прослойки применяют только для повышения твердости и сопротивления стиранию. Особенно хороший эффект дает хромирование при работе на трение, например для измерительных калибров и приборов. Хромирование поверхностей, работающих на удар, а также режущих частей, не всегда дает хорошие результаты, так как хрому свойственна хрупкость. Хрупкость хрома можно значительно снизить термической обработкой. Как показала работа Малышева под руководством Лайнера¹, хорошие результаты для некоторого вида режущих инструментов были полу-

¹ Л а й н е р и К у д р я в ц е в, Основы гальваностегии, 1936, ч. I.

чены при хромировании при $D_k = 20 \text{ A/дм}^2$, толщине слоя — 0,006 мм и последующем нагреве изделий в машинном масле в течение 30—45 мин. при 150°. Согласно данным Шнейдевина, при термической обработке (при нагревании до 150°) твердость хрома снижается с 8,0 до 4,3 (по Моосу).

Широко применяются многослойные покрытия (медь-хром, медь-никель-хром и т. д.) с декоративной и антикоррозийной целью для изделий, не подвергающихся суровым воздействиям (чашки весов, часы и т. п.).

В многослойных покрытиях хром осаждается с весьма незначительной толщиной, порядка 0,0005—0,0015 мм. Такое хромирование придает поверхности приятный цвет, сильный блеск, способность не тускнеть, повышает сопротивление стиранию и коррозионную стойкость. Последнее, возможно, объясняется способностью хрома не смачиваться, так как влага не задерживается на его поверхности.

В процессе хромирования встречаются следующие трудности. Хромовые электролиты отличаются исключительно низкой рассеивающей способностью; поэтому для получения на изделиях относительно сложной конфигурации осадка хрома, равномерного по толщине и по другим свойствам (например по блеску), необходимо прибегать к дополнительным анодам, защитным катодам и экранам, что требует от мастера большого искусства. Хромовые покрытия трудно поддаются полировке. Большое внимание при хромировании приходится уделять контактированию, которое должно быть жестким (например, зажим винтом, пружиной); при обычном в гальваностегии подвешивании изделий на крючки или загрузке изделий в барабаны осадка хрома получить не удастся.

Установка для хромирования должна быть снабжена подогревом и терморегулятором, так как хромирование проводится обычно при температуре 45—60°, и получение блестящих покрытий возможно только в узких пределах температуры и плотности тока. Кроме того, хромировочная установка должна быть оборудована сильной вентиляцией, лучше всего бортовым отсосом, так как при хромировании выделяется большое количество водорода, увлекающего с собой мельчайшие капли электролита и создающего над ванной вредные для здоровья пары.

Типовой состав универсальной хромовой ванны:

CrO_3	250 г/л
H_2SO_4	2,0 »

Ц и н к о в а н и е

Цинкование — наиболее распространенный способ покрытия и, являясь типичным «анодным» покрытием, применяется почти исключительно с антикоррозийной целью.

Существует несколько способов нанесения цинкового покрытия, до настоящего времени применяемых наряду с электролитическим методом. Наиболее старым и распространенным методом является горячее цинкование, при котором изделие погружается на несколько

секунд в расплавленный цинк. При действии высокой температуры под слоем цинка на поверхности изделия образуется промежуточный диффузионный слой, состоящий из неодинакового по составу сплава цинк-железо, процентное содержание железа в котором уменьшается к периферии.

Наличие этого слоя вызывает хрупкость покрытия. Самый слой цинка содержит большее или меньшее количество железа, понижающее коррозионную стойкость покрытия. К недостаткам этого процесса следует отнести также неравномерность толщины слоя, большой процент потерь цинка на угар, невозможность точной регулировки толщины слоя и высокую температуру процесса, могущую изменять физические свойства основного металла.

Несмотря на ряд недостатков, этот метод, как уже сказано, широко применяется, особенно для покрытия изделий, имеющих закатные швы. Цинк, заполняя щели швов, создает герметичность их.

По способу шерардизации изделия сначала покрывают слоем цинковой пыли, а затем термически обрабатывают. Этот способ обладает многими недостатками, присущими горячему процессу: образуется диффузионный слой, слой цинка загрязняется железом и прочими примесями, высокая температура процесса. Кроме того, полученный этим способом слой имеет трещины. Этот способ большого распространения не получил.

Применяется также шоопирование — распыление расплавленного металла специальным аппаратом по поверхности изделий. Преимуществом этого процесса перед другими является возможность покрывать большие конструкции в собранном виде. Однако слой цинка получается при этом пористым, хрупким.

Электролитический процесс имеет ряд преимуществ перед описанными выше и по свойствам полученного покрытия и по технологии процесса.

Специфические особенности электролитического процесса обеспечивают точную регулировку толщины покрытия.

Чистота полученного электролитически цинка обуславливает лучшие химические свойства, а отсутствие диффузионного слоя — более высокие физические свойства сравнительно с цинком, полученным другими способами. Преимуществом электролитического способа является также низкая температура, при которой протекает процесс, и значительная экономия цинка.

Цинкование производят как из кислых электролитов, так и из щелочных, цинкатыных и цианистых. Кислые электролиты более производительны, но рассеивающая способность этих ванн невысока. Структура осадков из этих ванн — крупная. Соответствующие добавки к кислому электролиту позволяют получать покрытия с мелкой структурой, плотные, светлые и блестящие. Блеск цинковых покрытий, однако, недолговечен, так как цинк легко окисляется.

Типичная кислая цинковая ванна имеет такой состав:

ZnSO ₄	200 г/л
Al ₂ (SO ₄) ₃	30 »
Декстрин	10 »

Цианистые ванны дают более равномерное покрытие с мелкой структурой, более стойкое против коррозии. Все цианистые ванны ядовиты и непостоянны в составе. Кроме того, они работают при низкой плотности тока, а повышение ее ведет к понижению выхода тока. Повышение или снижение концентрации свободного цианида против нормального сильно влияет на работу ванны.

Как пример цинкового цианистого электролита может служить ванна, выработанная Американским бюро стандартов:

Zn(CN) ₂	60 г/л
NaCN	23 »
NaOH	53 »

Цинковые покрытия для защиты от коррозии должны иметь толщину от 12 до 25 м и выше.

К а д м и р о в а н и е

В химическом отношении кадмий более стоек, чем цинк: пленка окиси кадмия, образующаяся на поверхности, предохраняет его от разрушения.

По блеску, цвету и стойкости против потускнения кадмий безусловно превосходит цинк, хотя со временем под действием кислорода воздуха кадмий покрывается пленкой окислов желтоватого оттенка и постепенно теряет блеск.

Считают, что кадмий защищает черные металлы от действия воздуха почти неограниченное время; прекрасные результаты дает защита кадмием изделий, работающих в морских условиях.

Защитные свойства кадмия, как и цинка, сильно зависят от толщины покрытия. Соответственно условиям службы применяют: 0,01—0,015 мм для мягких условий эксплуатации и 0,025 мм — при защите от сильно действующих корродирующих агентов.

Приятный серебристый цвет кадмиевых покрытий и относительная стойкость против потускнения обуславливают применение их не только как антикоррозионных, но и как декоративных покрытий. Однако высокая стоимость кадмия и дефицитность ограничивают его применение.

При кадмировании пользуются кислыми электролитами, главным образом сернокислыми и цианистыми. Первые дают крупнокристаллические осадки, по цвету напоминающие цинк.

Цианистые ванны работают с высокой рассеивающей способностью, позволяющей покрывать изделия сложного профиля; коэффициент использования тока в цианистых ваннах очень высокий, около 85—95%.

Типичная цианистая кадмиевая ванна, предложенная Уэстбруком для общих целей, имеет такой состав:

CdO	45 г/л
NaCN	120 »
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	50 »
NiSO ₄ · 7H ₂ O	1,0 »
Гулак	12 »

В качестве кислого электролита Изгарышев и Орлов рекомендуют ванну, содержащую:

$\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3}\text{H}_2\text{O}$	104 г/л
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	66 »
Пептон	2,5 »

Л у ж е н и е

Лужение производится горячим и электролитическим способами. Горячий метод применяется преимущественно для получения «белой жести», т. е. железных листов, покрытых с двух сторон оловом. Исключительно хорошее сцепление основного металла с оловом позволяет применять операции резания и штамповки без опасения отслаивания покрытия.

При электролитическом лужении пользуются как кислыми, так и щелочными ваннами. Наиболее производительными являются кислые ванны, позволяющие работать с высокими плотностями тока и высоким выходом тока. Кроме того, в кислых ваннах олово двухвалентно, а в щелочных — четырехвалентно, т. е. при затрате одного и того же количества электричества из кислого электролита выделяется вдвое большее количество металла. Преимуществом щелочных ванн является тонкая структура осадков и исключительно высокая рассеивающая способность, позволяющая покрывать изделия очень сложного профиля.

Хорошие отложения дают следующие электролиты.

Кислый электролит:

SnSO_4	50 г/л
Метакрезол	10 »
Клей столярный	10 »
H_2SO_4	50 »

Щелочный электролит, рекомендуемый Онлингером:

Na_2SnO_3	90 г/л
NaOH	8 »
CH_3COONa	15 »
или { H_2O_2	2,5 »
{ NaBO_4	1 »

С в и н ц е в а н и е

Свинцевание применяется исключительно с антикоррозийной целью, хотя потенциал его менее отрицателен, чем потенциал железа, и свинцовое покрытие относится к «катодным».

Темносерый («грязный») цвет свинцовых покрытий и отсутствие блеска лишают возможности применять их в качестве декоративных.

Свинец обладает высокой химической стойкостью, он хорошо растворяется только в азотной кислоте, серная и соляная кислоты растворяют его только с поверхности. Образующиеся при этом серно-кислые или хлористые соли свинца нерастворимы в воде и, оставаясь на поверхности, предохраняют металл от дальнейшего раство-

рения. Точно так же пленка основной соли, образующаяся на влажном воздухе, предохраняет свинец от окисления.

При действии на свинец растворенных в воде хлористых, углекислых, сернокислых солей последние образуют соответственные свинцовые соли, нерастворимые в воде. Пленка этих солей защищает свинец от растворения.

Химическая стойкость свинца определяет область применения его. Свинцовые покрытия применяются, главным образом, в химической и военной промышленности для защиты химической аппаратуры от действия серной кислоты, сернокислых и сернистых соединений, отравляющих веществ, газообразного хлора и т. д.

Свинцевание производится горячим (так называемым гомогенным) и электролитическим способами. Электролитическое покрытие более стойко, чем полученное горячим способом. Механические свойства электролитического покрытия также выше. Однако горячий способ вследствие его более высокой производительности успешно конкурирует с электролитическим. Особенно рационально его применять в тех случаях, когда требуется большая толщина покрытия или создание герметичности швов, путем заполнения их свинцом; для получения тонких покрытий рациональнее пользоваться электролитическим способом.

Рецептура электролитов, применяемых в гальваностегии, очень разнообразна. Хорошие покрытия получаются в следующем растворе:

HBF_4	100	г/л
PbCO_3	100	»
Желатин	1	»

П о к р ы т и е б л а г о р о д н ы м и м е т а л л а м и

Вследствие высокой стоимости благородные металлы применяются для покрытия лишь в исключительных случаях.

Ввиду ярко выраженных свойств «катодных» покрытий (высокий положительный потенциал) благородными металлами покрывается главным образом медь и ее сплавы — латунь, мельхиор и т. п. При покрытии железа или стали имеется большая опасность случайным повреждением покрытия обнажить поверхность железа и тем самым подвергнуть изделие усиленной коррозии.

Серебряные покрытия, наиболее распространенные из этой группы покрытий, применяются как для декоративных, так и для антикоррозионных целей, благодаря своей большой химической стойкости, приятному цвету и яркому блеску.

Серебро не окисляется на воздухе даже при накаливании; не растворяется в соляной кислоте, холодной плавиковой кислоте любой концентрации и в щелочах. Кипящие серная и азотная кислоты растворяют серебро. Серебро легко реагирует с галоидами; при действии на металл сероводорода и сернистых соединений легко образуется черное сернистое серебро (действием раствора гидросернистого калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_4$ производят «оксидировку», т. е. получают на поверхности тонкий слой черного сернистого серебра).

Свойственный серебру высокий коэффициент отражения света используется в производстве всевозможных прожекторов и отражателей. Однако, блеск, сообщенный серебряной поверхности, не стоек, под действием сернистых соединений серебро быстро тускнеет, и в этом отношении хромовые и родиевые покрытия имеют большие преимущества. Хотя коэффициент отражения ниже, чем у серебра (у серебра 95), но они обладают свойством не тускнеть.

Наконец, в некоторых случаях серебряные покрытия применяются для повышения электропроводности.

Для серебрения применяют цианистые растворы. Содержание серебра в них колеблется от 50 до 35 г/л; для получения толстого слоя отложений применяют более концентрированные растворы, например:

Ag (металлического)	5,0 г/л
или AgCN	6,5 »
KCN	68,0 »

При серебрении изделий из меди для лучшего сцепления осадка с основным металлом последний рекомендуется амальгамировать, т. е. покрывать тонким слоем ртути, погружая его на несколько секунд в раствор ртутных солей (7,5 г/л HgCl₂ + 4 г/л NH₄Cl).

Так как твердость серебра невысока и серебряные покрытия легко снашиваются, то для обеспечения продолжительности срока службы применяют значительную толщину слоя. Трущиеся части изделий, подвергающихся большему изнашиванию, покрываются более толстым слоем, что достигается или соответственным расположением изделий при электролизе или вторичным серебрением.

В особенно ответственных случаях применяют толщину слоя в 0,05—0,06 мм.

При плотности тока 0,5 А/дм² за 1 час осаждается слой толщиной около 0,019 мм.

Черные металлы перед серебрением следует покрывать медью.

З о л о ч е н и е

Золочение применяется как декоративное покрытие, главным образом, в часовом производстве; как защитное покрытие золочение применяется для лабораторного оборудования и точных приборов—разновесы аналитических весов, чашки весов и т. п.

Присадки к аноду или добавки солей других металлов в электролит позволяют получать электролитически отложения золота различных оттенков. Это свойство расширяет применение золота как декоративного покрытия.

При электролитическом золочении пользуются, главным образом, цианистыми электролитами:

Au	3—5 г/л
KCN(своб.)	12—15 »

ОБРАЗЕЦ КАРТЫ ТЕХНОЛОГИИ

Наименование материала		Марка	ОСТ	Род заготовки и размер				1 Технологическая			
11		12	13	14				2 Изделие		3 Узел	
Вес		Механические свойства						Год прогр.	Количество деталей на единицу	% брака	Количество деталей с браком
Черный	Чистый	Твердость	Пред. тек.	Врем. сопр.	Удлинение	Сжатие попер. сеч.	Косф. резания				
15	16	17	18	19	20	21	22	5	6	7	8
		$H_B =$									
Операция		Станок, тип, модель, мощность	№ перехода	Наименование установок, позиций, переходов и приемов	№ обраб. пов.	№ базир. пов.	Приспособление к вспомогател. инструмент.	Инструмент (наименование, размер, № чертежа или ОСТ)		Число одноврем. обраб. деталей	
№	Наименование							Режущий	Измерительный		
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	

Дата и подпись

Составил

Проверил

Утвердил

ТЕСКОГО ПРОЦЕССА

карта № .		51	52	53	54	55			56	57	58	23							
4 Деталь		№ операции	Термическая обработка	Оборудование	Температура	Время			Охлаждающая среда	Температура охлаждающей среды	Твердость после обработки								
						нагрева	выдержки	охлаждения											
Размер партии						Нормализ.													24
№ чер-тежа						Отжиг													Всего листов
9						Цемент.													
10		Закалка																	
		Отпуск										Лист № . .							

Размеры обработки		Режим обработки								Время в минутах				Эскизы устано-вок и переходов
Диаметр или ширина	Длина	Припуск на сторону	Глубина резания	Число проходов	Скорость резания	Число оборотов или двойных ходов	Подача на оборот в минуту	Мощность на резае	Основное	Вспомогательное	Штучное	Подготовительно-заключительное	Разряд работы	
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

СРЕДНЯЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СТЕПЕНЬ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Средняя экономическая точность обработки валов в мм на диаметр вала

Интервалы диаметров в мм	Черновое обтачивание				Чистовое обтачивание				Черновое шлифование			
	Длина вала в мм				Длина вала в мм				Длина вала в мм			
	до 100	100—300	300—600	600—1200	до 100	100—300	300—600	600—1200	до 100	100—300	300—600	600—1200
До 6	0,15	—	—	—	0,06	—	—	—	0,04	—	—	—
6—10	0,15	0,20	—	—	0,08	0,10	—	—	0,05	0,06	—	—
10—18	0,20	0,20	0,30	—	0,08	0,10	0,15	—	0,05	0,06	0,08	—
18—30	0,20	0,20	0,30	0,40	0,10	0,10	0,15	0,20	0,06	0,08	0,08	0,08
30—50	0,30	0,30	0,30	0,40	0,15	0,15	0,15	0,20	0,08	0,08	0,08	0,10
50—80	0,40	0,40	0,40	0,40	0,15	0,15	0,18	0,20	0,08	0,10	0,10	0,10
80—120	0,40	0,40	0,40	0,40	0,15	0,15	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
120—180	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,12	0,12	0,12	0,12
180—260	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,12	0,12	0,12	0,12
260—360	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,12	0,12	0,12	0,12

Продолж. табл. 1

Интервалы диаметров в мм	Чистовое шлифование				Тонкое шлифование				Полирование и доводка			
	Длина вала в мм				Длина вала в мм				Длина вала в мм			
	до 100	100—300	300—600	600—1200	до 100	100—300	300—600	600—1200	до 100	100—300	300—600	600—1200
До 6	0,012	—	—	—	0,008	—	—	—	0,005	—	—	—
6—10	0,015	—	—	—	0,010	—	—	—	0,006	—	—	—
10—18	0,018	—	—	—	0,012	0,016	—	—	0,008	0,011	—	—
18—30	0,020	0,030	0,035	0,035	0,015	0,018	0,020	0,025	0,009	0,012	—	—
30—50	0,025	0,030	0,035	0,040	0,018	0,020	0,022	0,028	0,011	0,014	0,015	0,020
50—80	0,035	0,040	0,045	0,045	0,020	0,022	0,025	0,030	0,013	0,015	0,018	0,020
80—120	0,035	0,040	0,045	0,045	0,025	0,025	0,028	0,030	0,015	0,018	0,020	0,020
120—180	0,040	0,045	0,045	0,045	0,030	0,030	0,030	0,030	0,020	0,020	0,020	0,020
180—260	0,045	0,045	0,045	0,045	0,030	0,030	0,030	0,030	0,020	0,020	0,020	0,020
260—360	0,050	0,050	0,050	0,050	0,035	0,035	0,035	0,035	0,025	0,025	0,025	0,025

При обработке ступенчатых валов точность обработки ступени определяется по диаметру ступени и общей длине вала.

Таблица 2

Средняя экономическая степень точности обработки отверстий в мм на диаметр отверстия

Интервалы диаметров в мм	Длина отверстия до 300 мм										Длина отверстия свыше 300 мм			
	Обработка черновым резцом или черновым зенкером	Обработка чистовым резцом, расточной пластиной или чистовым зенкером	Сверление спиральным сверлом без кондуктора	Сверление спиральным сверлом по кондуктору	Расверливание сверлом большего размера после сверла меньшего размера	Точное растачивание, черновое развертывание или черновое шлифование	Чистовое развертывание или чистовое шлифование	Тонкое шлифование или протравливание брешью на протяжных станках	Ручное развертывание	Алмазное растачивание, доводка	Обработка черновыми резцами или черновыми зенкерами	Обработка чистовым резцом, расточной пластиной или чистовым зенкером	Точное растачивание, черновое развертывание или черновое шлифование	Чистовое развертывание или чистовое шлифование
1—3	—	—	0,15	0,06	—	0,03	0,012	—	0,010	—	—	—	—	—
3—6	—	—	0,15	0,07	—	0,03	0,015	—	0,010	—	—	—	—	—
6—10	—	—	0,20	0,10	—	0,05	0,020	—	0,010	—	—	—	—	—
10—18	—	—	0,20	0,13	0,10	0,05	0,025	0,019	0,010	0,010	—	—	—	—
18—30	—	—	0,25	0,20	0,15	0,05	0,030	0,023	0,015	0,010	—	—	—	—
30—50	0,30	0,15	0,35	0,25	0,20	0,05	0,035	0,025	0,015	0,015	0,35	0,20	0,06	0,04
50—80	0,30	0,15	0,45	0,30	0,20	0,07	0,040	0,030	0,020	0,018	0,40	0,25	0,08	0,05
80—120	0,40	0,20	—	—	—	0,07	0,045	0,035	—	0,021	0,45	0,25	0,08	0,05
120—180	0,40	0,20	—	—	—	0,10	0,050	0,040	—	0,024	0,50	0,30	0,12	0,06
180—260	0,50	0,25	—	—	—	0,10	0,060	0,045	—	0,027	0,55	0,30	0,12	0,07

Таблица 3

Средняя экономическая точность обработки плоскостей

Длина поверхности в мм	Ширина поверхности в мм											
	Черновое фрезерование цилиндрической фрезой или черновое строгальное резцом		Черновое фрезерование торцевой фрезой или фрезерной головкой		Чистовое фрезерование цилиндрической фрезой или чистовое строгальное резцом		Чистовое фрезерование торцевой фрезой или фрезерной головкой		Шлифование		Тонкое шлифование	
	до 100	от 100 до 300	до 100	от 100 до 300	до 100	от 100 до 300	до 100	от 100 до 300	до 100	от 100 до 300	до 100	от 100 до 300
До 100	0,20	—	0,15	—	0,10	—	0,08	—	0,03	—	0,025	—
От 100 до 300	0,30	0,35	0,20	0,25	0,15	0,18	0,12	0,15	0,05	0,07	0,025	0,035
От 300 до 600	0,40	0,45	0,30	0,35	0,18	0,20	0,15	0,18	0,07	0,08	0,035	0,040
От 600 до 1200	0,50	0,50	0,40	0,45	0,20	0,25	0,18	0,20	0,08	0,10	0,040	0,050

Таблица 4

Средняя экономическая точность обработки поверхностей фасонной фрезой

Длина поверхности в мм	Ширина фрезы в мм			
	Черновая обработка		Чистовая обработка	
	до 120	120—180	до 120	120—180
До 100	0,25	—	0,10	—
От 100 до 300	0,35	0,45	0,15	0,20
» 300 » 600	0,45	0,50	0,20	0,25

Таблица 5

Средняя экономическая точность обработки торцевых плоскостей
(при обработке на полный диаметр и при измерении от базы или от обработанной параллельной плоскости)

Диаметр в мм	Точность обработки в мм			
	Черновое обтачивание	Чистовое обтачивание	Обычное шлифование	Точное шлифование
До 50	0,15	0,07	0,03	0,020
От 50 до 120	0,20	0,10	0,04	0,025
» 120 » 260	0,25	0,13	0,05	0,030
» 260 » 500	0,40	0,20	0,07	0,035

Таблица 6

**Средняя экономическая точность обработки параллельных плоскостей при
одновременном фрезеровании дисковыми фрезами**

Длина поверхностей в мм	Высота поверхностей в мм		
	до 50	50—80	80—120
До 100	0,05	0,06	0,08
От 100 до 300	0,06	0,08	0,10

Расстояние между обрабатываемыми плоскостями не более 100 мм.

Таблица 7

**Средняя экономическая точность обработки шпоночных канавок шпоночной
торцевой фрезой или строгальным резцом**

Ширина канавки в мм	Точность обработки в мм	
	Черновой проход	Чистовой проход
6—10	0,10	0,03
10—18	0,15	0,04
18—30	0,20	0,05

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ $\Phi(z)$

Первый столбец содержит первые две цифры значения z , верхняя строка — третью цифру (второе место после запятой).
В остальных строках даны значения Φ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0080	0,0160	0,0240	0,0320	0,0398	0,0478	0,0558	0,0638	0,0718
0,1	0786	0876	0956	1034	1114	1192	1278	1350	1428	1506
0,2	1586	1664	1742	1818	1896	1974	2052	2328	2206	2282
0,3	2358	2434	2510	2586	2662	2736	2812	2836	2960	3034
0,4	3108	3182	2386	3328	3400	3472	3544	3616	3688	3758
0,5	3830	3900	3970	4038	4108	4176	4246	4314	4380	4448
0,6	4514	4582	4648	4714	4778	4844	4908	4472	5034	5098
0,7	5160	5222	5284	5346	5408	5468	5528	5588	5646	5704
0,8	5762	5820	5878	5934	5910	6046	6102	6156	6212	6266
0,9	6318	6372	6424	6476	6528	6578	6630	6680	6730	6778
1,0	6826	6876	6922	6970	7016	7062	7108	7154	7198	7242
1,1	7286	7330	7372	7416	7458	7498	7540	7580	7620	7660
1,2	7698	7738	7776	7814	7850	7888	7924	7960	7994	8030
1,3	8064	8098	8132	8164	8198	8330	8262	8294	8324	8364
1,4	8384	8414	8444	8472	8502	8530	8558	8584	8612	8638
1,5	8664	8690	8714	8740	8764	8788	8812	8936	8856	8882

1,6	8904	8926	8948	8968	8990	-9010	9030	9050	9070	9090
1,7	9108	9128	9146	9164	9182	9198	9216	9232	9250	9266
1,8	9282	9298	9312	9328	9342	9356	9372	9386	9398	9412
1,9	9426	9438	9452	9464	9476	9488	9500	9512	9522	9534
2,0	9544	9556	9566	9576	9586	9596	9606	9616	9624	9634
2,1	9642	9652	9660	9668	9676	9684	9692	9700	9708	9714
2,2	9722	9728	9736	9742	9750	9756	9762	9768	9774	9780
2,3	9786	9792	9796	9802	9808	9812	9818	9822	9826	9832
2,4	9836	9840	9844	9850	9854	9858	9862	9864	9868	9872
2,5	9876	9880	9882	9886	9890	9892	9896	9898	9902	9904
2,6	9906	9910	9912	9914	9918	9920	9922	9924	9926	9928
2,7	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9944	9946	9948
2,8	9949	9950	9952	9954	9955	9956	9957	9958	9960	9962
2,9	9963	9964	9965	9966	9967	9968	9969	9970	9971	9972
3,0	9973	9974	9975	9976	9977	9978	9978	9979	9980	9980
3,1	9981	9982	9982	9983	9983	9984	9984	9984	9985	9985
3,2	9986	9986	9987	9987	9988	9988	9989	9989	9990	9990
3,3	9990	9991	9991	9991	9992	9992	9992	9993	9993	9993
3,4	9993	9994	9944	9994	9994	9994	9995	9995	9995	9995

1 Первые четыре знака после запятой.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ
обработок (пример по В. М. Ковану)

Методы обработки цилиндрических внешних поверхностей						
Класс обработки						
Вид обработки	Обдирка	Отделка	Тонкая отделка	Самая тонкая отделка	Рабочий инструмент, рабочее вещество	
Обработка снятием стружки	Обтачивание продольной подачей	▽▽		▽▽▽▽▽	Прходной резец	
	Обтачивание радиальной подачей				Радиальный резец	
	Обтачивание тангенциальным резцом				Тангенциальный резец	
	Бесцентровое сквозное шлифование	Бесцентровое сквозное шлифование			Шлифовальный круг	
		Бесцентровое шлифование поперечной подачей		Бесцентровое шлифование поперечной подачей		Шлифовальный круг
		Шлифование продольной подачей (обычный метод: малая t , большая s)		Шлифование продольной подачей (обычный метод: малая глубина резания, большая подача)		Шлифовальный круг

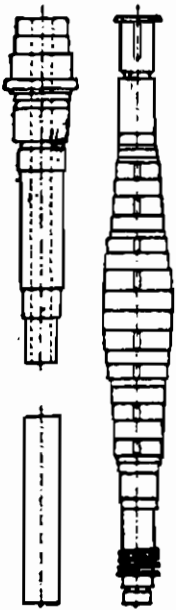
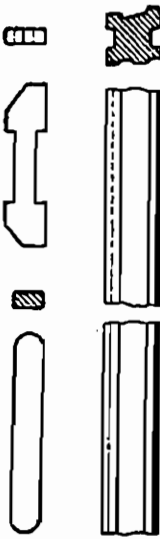

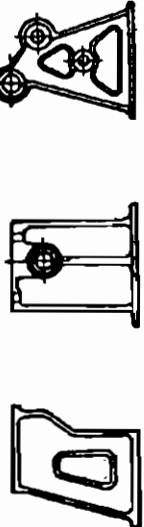
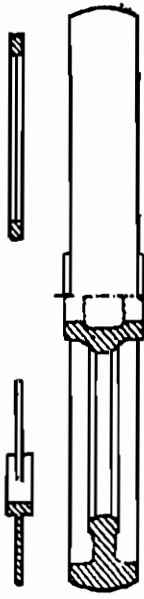
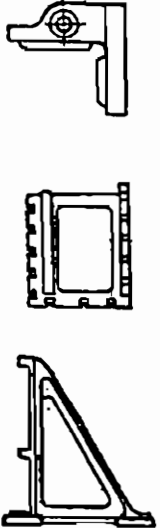
	Шлифование продольной подачей (глубинный метод: большая глубина резания, малая подача)	Шлифование продольной подачей (глубинный метод: большая глубина резания, малая подача)	Шлифовальный круг
	Шлифование поперечной подачей	Шлифование поперечной подачей	Шлифовальный круг
	Протягивание	Протягивание	Протяжка
			Полировальный круг, окись хрома или крокуо
			Притир, абразивный материал, смачивающая жидкость
			Закаленный полировальный ролик
Обработка без снятия стружки		Обкатывание роликом	Обкатывание роликом
		Полирование бруском ¹	Закаленный полировальный брусок
			Полирование мягким кругом ²
			Притирка ²
			Полирование бруском ¹

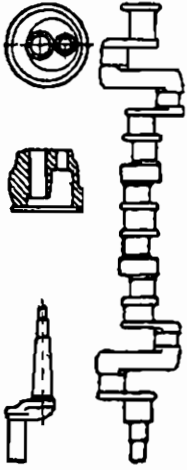
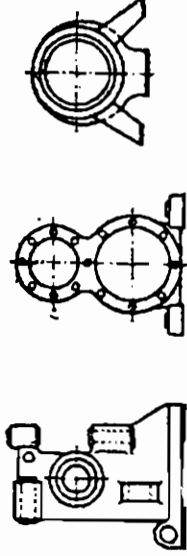


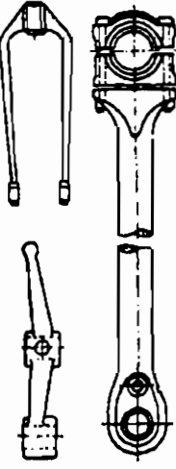
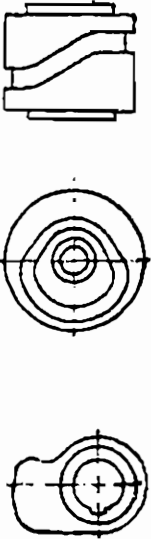
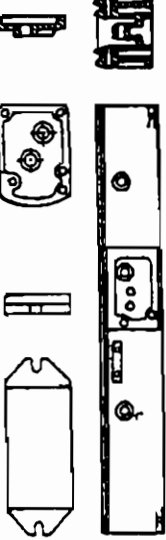

¹ Методы обработки, не получившие распространения, но возможные и целесообразные.

² Методы обработки отнесены условно к обработке снятием стружки, так как, помимо воздействия на обрабатываемую поверхность полировального круга или притира, эти методы обработки родственны химическим процессам.

Классификация деталей
машиностроения

ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ ДЕТАЛЕЙ

Шифр	Наименование класса	Примеры деталей, входящих в состав класса	Шифр	Наименование класса	Примеры деталей, входящих в состав класса
В	Валы		Ш	Шпонки	
А	Втулки		С	Стойки	
Д	Диски		У	Угольники	

Э	Эксцентр. детали		Б	Бабки	
К	Кресто- вины		З	Зубчатые колеса	
Р	Рычаги		Ф	Фасонные кулачки	
П	Плиты		М	Мелкие крепежные детали	

ЗНАЧЕНИЯ ПРИПУСКОВ

Наименьший слой металла, подлежащий удалению! при черновой обработке

А. Для литых заготовок серого чугуна:

- а) простой конфигурации средних и крупных размеров . 1,0 мм
- б) сложной конфигурации средних размеров 1,5 »
- в) сложной конфигурации крупных размеров 2,0 »

Б. Для заготовок углеродистой стали, полученных свободной ковкой из проката:

- а) простой конфигурации малых размеров 1,5 мм
- б) простой конфигурации средних и крупных размеров . . 2,0 »
- в) сложной конфигурации малых размеров 2,0 »
- г) сложной конфигурации средних и крупных размеров . . 3,0 »

В. Для заготовок легированной стали, полученных свободной ковкой из проката:

- а) простой конфигурации малых размеров 2,5 мм
- б) простой конфигурации средних и крупных размеров . . 3,0 »
- в) сложной конфигурации малых размеров 2,5 »
- г) сложной конфигурации средних и крупных размеров . . 3,5 »

Г. Для заготовок углеродистой стали, полученных из проката ковкой в закрытых штампах:

- а) простой конфигурации малых и средних размеров . . 1,0 мм
- б) сложной конфигурации малых размеров 1,0 »
- в) сложной конфигурации средних размеров 1,5 »

Д. Для заготовок легированной стали, полученных из проката ковкой в закрытых штампах:

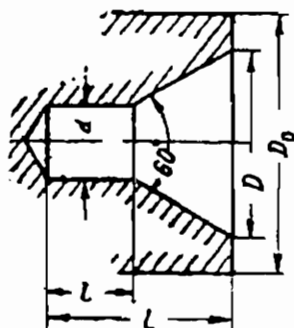
- а) простой конфигурации малых и средних размеров . . 0,5 мм
- б) сложной конфигурации малых размеров 0,5 »
- в) сложной конфигурации средних размеров 1,0 »

Е. Для заготовок из проката 0,5 мм

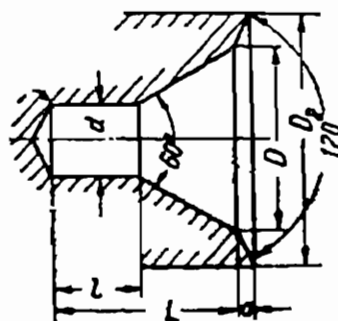
Приведенные значения даны с учетом удаления дефектного слоя и неровностей, а также с учетом работы режущего инструмента под слоем литейной корки и окалины.

СССР Совет труда и обороны Всесоюзный комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 3725
	Отверстия (гнезда) центровые с углом 60°	
		Металл

Тип А
без предохранительного конуса



Тип В
с предохранительным конусом



мм

d	D (не более)	L	l (не менее)	$a \approx$	D_0
0,5	1	1	0,5	0,2	2
0,7	2	2	1	0,3	3,5
1	2,5	2,5	1,2	0,4	4
1,5	4	4	1,8	0,6	6,5
2	5	5	2,4	0,8	8
2,5	6	6	3	0,8	10
3	7,5	7,5	3,6	1	12
4	10	10	4,8	1,2	15
5	12,5	12,5	6	1,5	20
6	15	15	7,2	1,8	25
8	20	20	9,6	2	30
12	30	30	14	2,5	42

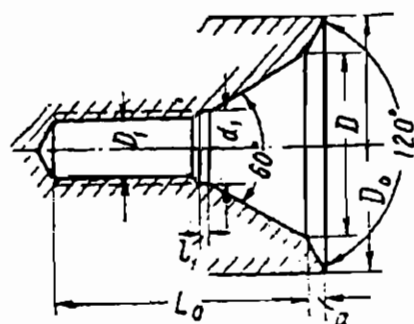
1. D_0 представляет собою наименьший поперечный размер концевой части обрабатываемой заготовки, к которой может быть применен данный размер центрального отверстия (гнезда).

2. В случае необходимости указать центральное отверстие (гнездо) записью (например, в технологических разработках или в рабочих чертежах деталей, где это требуется по условиям их применения) следует указать тип отверстия, размер d и номер стандарта, например:

ОТВЕРСТИЕ ЦЕНТР. А 6 ОСТ 3725,




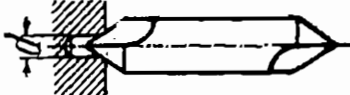

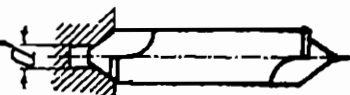
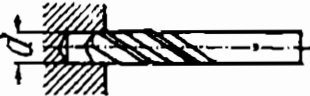
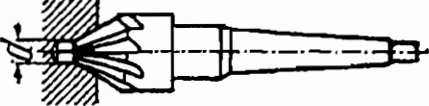
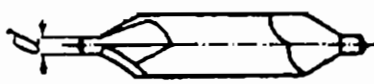
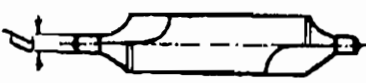
ОТВЕРСТИЕ ЦЕНТР. В 5 ОСТ 3725 и т. п.

3. Для отверстий с нарезкой (тип К) размеры D_0 , D , a должны быть те же, что и для отверстий типа В; размеры $d_1 \geq$ наружному диаметру резьбы, $D_1 =$ диаметру отверстия под резьбу, $l_1 = 0,866 (d_1 - D_1)$. Размер L_0 определяется в зависимости от размеров крепежного винта, но не должен быть менее размера L , указанного в таблице.



Тип К

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 30 октября 1931 г. как обязательный с 1 января 1932 г.

СССР Совет труда и обороны Всесоюзный комитет по стандартизации		ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ		ОСТ 3726	
		Инструмент центровочный Типовые наборы		Металл	
<p>Систематизация центровочного инструмента по наборам произведена применительно к процессу изготовления центровых отверстий по ОСТ 3725 и не предопределяет поставки центровочного инструмента только в виде комплектных наборов.</p>					
Набор №	Наименование инструмента	Э с к и з		ОСТ №	Для каких центровых отверстий (гнезд) служит данный набор
1а	Сверло центровочное			3727	Для центровых отверстий (гнезд) по ОСТ 3725, типа А, диам. (d) от 0,5 мм до 1,5 мм ВЛК
	Зенковка 60° центровочная простая			3728	
1б	Сверло центровочное			3727	Для центровых отверстий (гнезд) по ОСТ 3725, типа А, диам. (d) от 0,5 мм до 6 мм ВЛК
	Зенковка 60° центровочная для центровых отверстий без предохранительного конуса			3729	
1с	Сверло центровочное			3727	Для центровых отверстий (гнезд) по ОСТ 3725, типа В, диам. (d) от 0,6 мм до 6 мм ВЛК
	Зенковка 60° центровочная для центровых отверстий с предохранительным конусом			3730	
2	Сверло центровочное			3727	Для центровых отверстий (гнезд) по ОСТ 3725, типа А, диам. (d) 8 мм и 12 мм
	Зенковка 60° центровочная с конусным хвостом			3731	
3а	Сверло центровочное комбинированное для центровых отверстий 60° без предохранительного конуса			3732	Для центровых отверстий (гнезд) по ОСТ 3725, типа А, диам. (d) от 1,5 мм до 6 мм ВЛК
3б	Сверло центровочное комбинированное для центровых отверстий 60° с предохранительным конусом			3733	Для центровых отверстий (гнезд) по ОСТ 3725, типа В, диам. (d) от 1,5 мм до 6 мм ВЛК
<p>Для отверстий с нарезкой по ОСТ 3725 набор центровочного инструмента полностью не нормируется, но для образования конической части отверстия могут быть использованы некоторые из инструментов указанных выше наборов.</p>					
<p>Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 30/Х 1931 г.</p>					

ЧИСЛО ЛЮНЕТОВ ПРИ НОРМАЛЬНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ РАБОТАХ

Диаметр изделия в мм	Длина изделия в мм										
	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1500	1800	2100
12—19	1	2	3	4	5	7	8	—	—	—	—
20—25	—	1	2	3	4	5	6	7	—	—	—
26—35	—	1	2	2	3	4	5	5	7	—	—
33—49	—	1	1	2	2	3	4	4	5	7	—
50—60	—	—	1	1	2	2	3	3	4	5	6
61—75	—	—	1	1	2	2	2	3	4	5	5
76—100	—	—	1	1	1	2	2	2	3	4	5
101—125	—	—	—	1	1	1	1	2	3	3	4
126—150	—	—	—	1	1	1	1	2	2	3	3
151—200	—	—	—	—	1	1	1	1	2	2	3
201—250	—	—	—	—	—	1	1	1	1	2	2
251—300	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1	2

Редактор *М. С. Никишкина*
Техн. редактор *И. М. Зудакин*

Сдано в набор 8/VI 1940 г. Подписано к
печ. 7/X 1940 г. Авторск. дог. № 835.
Инд. 5-2. Тираж 5 500. Кол. печ. лист.
24+4 вкл. Уч.-авт. 27,45. Формат бум.
60×92^{1/16}. А32597. Заказ № 108.
Цена 17 р. Пер. 2 р.

Типография Оборонгиза.
Киев, Крещатик, 42.