ТПТС АПК-20 Лекция №11=4ч.

**Тема 3.3.** **Технология изготовления типовых деталей двигателей**

1. *Технология производства поршней*
2. *Технология производства поршневых колец*
3. *Технология производства поршневых пальцев*
4. *Технология производства шатунов*
5. *Технология производства коленчатых валов*
6. ***Технология производства поршней***

Поршни двигателей внутреннего сгорания, особенно бы­строходных, работают в тяжелых условиях с точки зрения механической и тепловой нагрузки. Горячие газы ускоряют процесс коррозии днища поршня, температура которого до­стигает в отдельных местах 400…500 °С. Стенки поршня трутся о поверхность цилиндра при значительных давлениях от боковых сил шатуна и линейных скоростях движения. Бобышки поршня испытывают знакопеременную нагрузку.

Исходя из этого, к материалу поршней предъявляются следующие требования:

1) хорошая теплопроводность;

2) высокая механическая прочность;

3) достаточная жаропрочность;

4) плотность материала

5) хорошее сопротивление износу и коррозии;

6) невысокий коэффициент трения;

7) коэффициент линейного расширения поршня должен быть близок к коэффициенту линейного расширения мате­риала цилиндра.

В двигателях мало- и среднеоборотных основным мате­риалом служит чугун марок СЧ24 и СЧ28 легированный хромом и другими присадками. Иногда используют высокопрочный чугун. Для отъемных головок поршней боль­ших размеров применяют материалы, не обладающие анти­фрикционными свойствами, но более жаропрочные: поковки и отливки из легированных сталей 20ХМ, ЗОМ и других, высокопрочного чугуна ВЧ50.

Поршни для легких многооборотных двигателей, а в не­которых случаях и для более крупных двигателей изготавли­вают из алюминиевых сплавов, преимуществам которых яв­ляется малая плотность сплавов и высокая теплопроводность. Недостатком алюминиевых сплавов, не считая меньшей со­противляемости износу, следует считать высокий коэффи­циент линейного расширения, требующий больших зазоров между цилиндром и поршнем в холодном состоянии.

В быстроходных двигателях литые сплавы вытесняются кованными, обладающими более высокой прочностью: АК4, АК4-1, а также АК2 с пределом прочности *σв* = 400…450 МПа.

В качестве заготовок для поршней применяют отливки и штамповки.

В серийном производстве чугунных и алюминиевых поршней широко применяется литье в металлические формы (в кокиль).

Поршни из сплавов АК2 и АК4 изготавливаются штам­повкой. При штамповке непосредственно из слитка часто появляются трещины и ухудшается структура; поэтому поршни штампуют из катаных или прессованных заготовок.

На объем и сложность технологического процесса изготовления детали большое влияние оказывают требования к механической обработке. Для большинства ответственных деталей эти требования, как правило, приводятся в государ­ственных или отраслевых стандартах.

*Требования к механической обработке заготовок поршней следующие:*

1) ось отверстия под поршневой палец должна быть пер­пендикулярна к образующей поршня (во избежание перекоси поршня в цилиндре). Допуск перпендикулярности 0,1...0,15 мм на 1 м длины контрольного валика;

2) ось отверстия под палец должна лежать и папой плоскости с осью поршня. Допуск пересечения осей 0.2...0,3 мм для чугунных поршней и 0,1...0,2 мм для алюминиевых;

3) боковые плоскости канавок для колец должны быть перпендикулярны к образующей поршня. Допуск перпендикулярности 0,02...0,03 мм;

4) контур днища поршня должен быть выдержан с точностью 0,2...0,5 мм.

5) должна быть обеспечена герметичность полости охлаждения;

6) обработка по размерам (рис. 74) ведется с точностью, указанной в табл. 8;

7) отклонение массы поршня от указанной в чертеже не должно превышать 0,8...1,2 % для алюминиевых и 1...2 % для чугунных поршней;

8) шероховатость обработанных поверхностей обычно аналогична приведенной на рис. 74.

В качестве примера рассмотрим типовой технологический процесс обработки чугунного поршня для средне­оборотного двигателя в условиях серийного производ­ства. Такой выбор поршня и типа производства обусловлен тем, что в дизелестроении мелкосерийное производство явля­ется наиболее распространенным, а при обработке поршня такого размера и материала применяются наиболее харак­терные способы и приемы. При этом необходимо учесть следующее:

1) основными обрабатываемыми поверхностями поршней являются поверхности тел вращения; их обработка произ­водится, главным образом, на токарных и расточных стан­ках;

2) поршни являются тонкостенными деталями и поэтому легко деформируются, что затрудняет обеспечение высокой точности обработки.

Для ее повышения пользуются вспомо­гательными, точно обработанными базирующими поверхно­стями, установка на которые позволяет зажимать поршень без значительных деформаций. Чаще всего за такие базы принимают точно обработанный поясок юбки поршня и ее торец.



Рис. 74. Поршни: а) чугунный литой; б) алюминиевый штампованный

При изготовлении поршня применяется следующий технологический процесс:

*операция* 05- проверка отливки; разметка под токарную об­работку. Для обеспечения равномерной толщины стенок и днища поршня за базовые берутся внутренние необрабаты­ваемые поверхности. Первоначальную разметку выполняют с укладкой поршня сначала на призмы (в двух положениях, через 90 °), а затем с установкой его на днище. Наносятся продольные и поперечные центровые линии, и риски, опреде­ляющие припуски по торцам. На зачищенной технологической центровой бобышке на головке поршня намечается центро­вое отверстие;

*операция* 10- обдирка наружной поверхности и днища (желательно как можно раньше выявить пригодность материала ответственных наружных поверхностей - отсутствие рако­вин, трещин и т. п.).

Таблица 8

*Точность обработки поршня*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер | Поле допуска | Примечание |
| *D1* | *h*6 | *D1* = *D* – (0,0010…0,0013)*D* – для чугунных поршней;  *D1* = *D* – (0,0018…0,0025)*D* – для алюминиевых поршней,  где *D* – диаметр цилиндра |
| *D2* | *h*9 | При цилиндрической форме верхней части поршня |
| *D3* | *H*9…*H*7 |  |
| *D4* | *H*11 | На соответствующем размере буртика крышки с11 |
| *d* | *H*7 | Для тихоходных двигателей |
| *d* | *H*6 | Для быстроходных двигателей |
| *h* | 3-й класс | 0,020…0,035 мм в зависимости от размера |
| *k* | ± 0,1…0,05 мм | Для двигателей без регулирующих ε0 прокладок |

Поршень устанавливают прибылью в кулачки планшайбы с выверкой по рискам на верхнем торце и поддерживают задним центром (рис. 75, *а*).

Такое крепление позволяет вести обработку на производительных режимах без опасения деформировать поршень. Начерно прорезают канавки для колец (это дает возможность удостовериться в хорошем ка­честве отливки), а также отрезают прибыль и пробное кольцо для проведения испытаний (механических испытаний, струк­турного и химического анализа; для средних и мелких алю­миниевых поршней одну заготовку от каждой плавки разре­зают на части и подвергают механическим испытаниям, макроструктурному и химическому анализу).

На чистовую обточку оставляется припуск 2...2,5 мм на сторону;

*операция* 15- черновая расточка внутренних поясков, подрезка нижнего торца и фланца полости охлаждения - производится на токарном или расточном станке. Поршень устанавлива­ется головкой в четырехкулачковый патрон, а юбкой - в лю­нет 1*.* За базу принимается вчерне обработанная наружная поверхность (рис. 75, *б*);

*операция* 20- черновая расточка и подрезка отверстия для пальца - выполняется на карусельном или расточном станке;

*операция* 25- термообработка для снятия напряжений. На­грев до температуры приблизительно 500 °С в течение 4 ч, выдержка 6 ч, остывание вместе с печью в течение 10 ч до *t* = 150 °С (для алюминиевых поршней остывание не с печью, а на воздухе - нормализация);

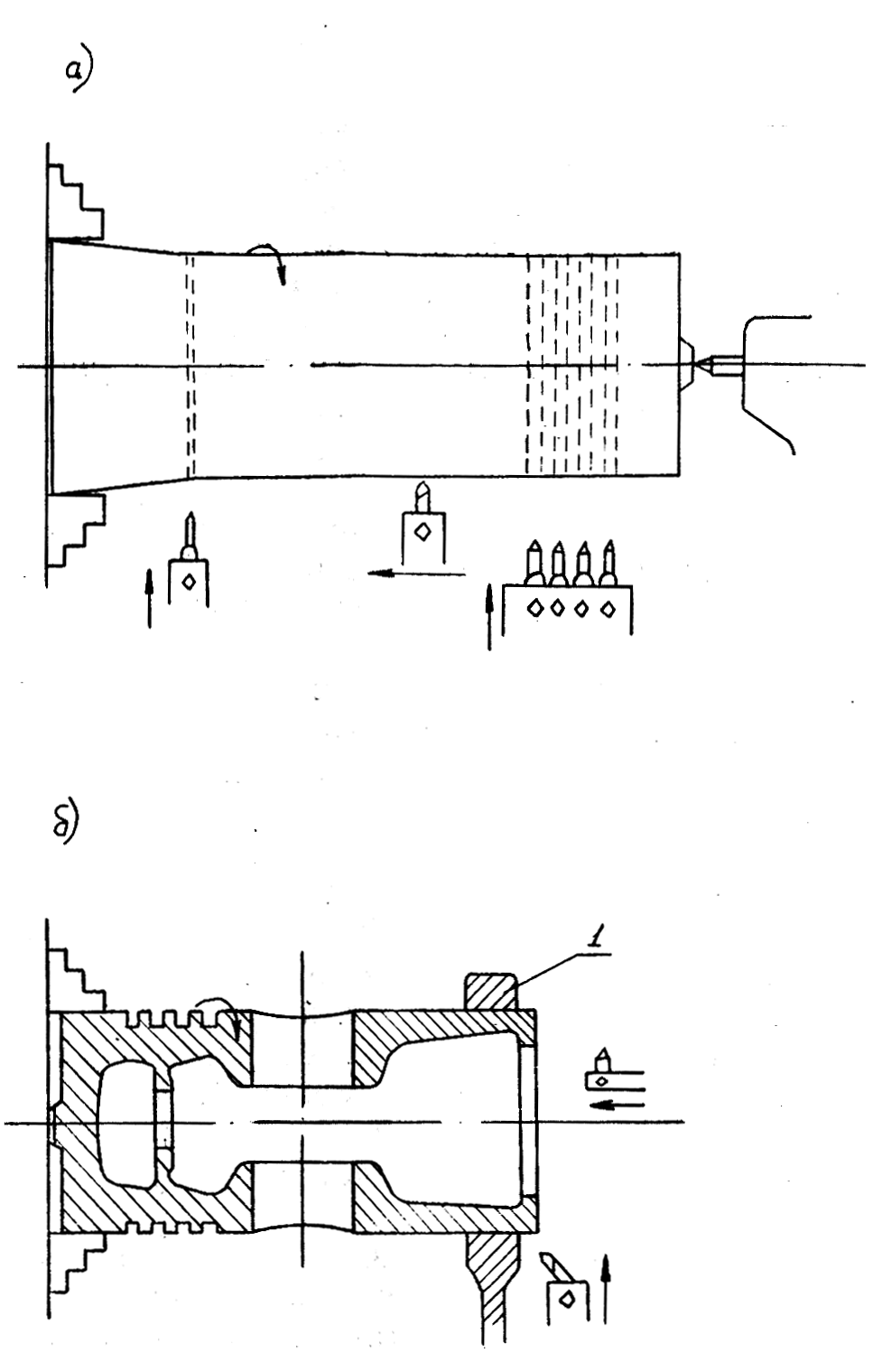


Рис. 75. Черновая обработка поршня: а) обточка; б) расточка.

*операция* 30- чистовая расточка внутренних поясков и под­резка нижнего торца и фланца полости охлаждения — выпол­няется аналогично 3-й операции. Эти поверхности исполь­зуются в дальнейшем как установочная база для последую­щих операций;

*операция* 35- чистовая обточка (с припуском на диаметр 0,5...0,35 мм под шлифование), проточка канавок для колец, проточка камеры сгорания (профиля верхнего днища). Операция выполняется на обычных или многорезцовых то­карных станках. Подготовленная в 6-й операции установоч­ная база (внутренний поясок и нижний торец) очень удобна для выполнения всей наружной обработки при одной уста­новке.

Поршень ориентируется на центрирующем диске 1через отверстие в бобышках пальцем 2и тягой 3и закрепляется с помощью пневматического цилиндра 4(рис. 76).

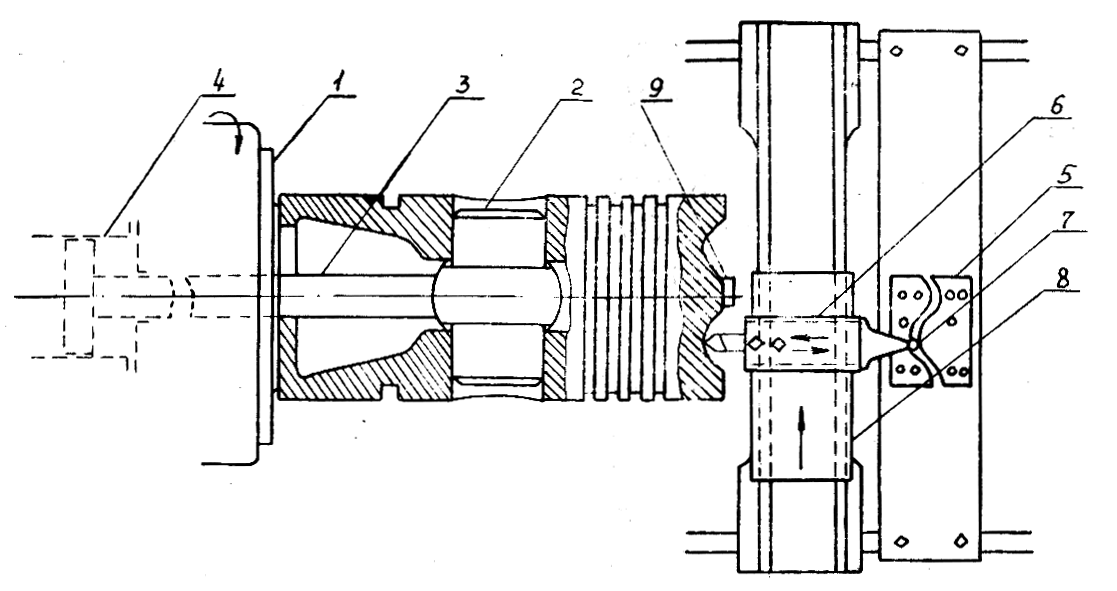


Рис. 76. Чистовая обточка поршня

Фасонное днище поршня обтачивают посредством по­перечного копира 5, закрепляемого на станине станка.

Верхний суппорт 6отключается от самохода и роликом 7 связывается с копиром; при включении самохода попереч­ного суппорта 8верхний суппорт 6описывает кривую в со­ответствии с профилем копира.

Для данных поршней с целью устранения вибраций и усиления устойчивости головку поршня упирают в задний центр с помощью технологической бобышки 9*.*

Чистовую проточку канавок для колец выполняют набо­ром калибрующих резцов с малой поперечной подачей (около 0,05 мм/об), обеспечивая этим высокую степень точности и шероховатости поверхности;

*операция* 40- расточка (с припуском 0,4…0,5 мм) отвер­стия для пальца и чистовая подрезка торцов бобышек - производится на карусельном или расточном станке;

*операция* 45 - сверление отверстии на фланце полости охлаж­дения для крепления крышки производится на радиально сверлильном станке с помощью кондуктора. Поршень уста­навливается головкой в приспособление;

*операция* 50 - гидравлическое испытание полости охлажде­ния давлением приблизительно 0,6 МПа. Поршни для бы­строходных двигателей также подвергаются гидравлическому испытанию, но при этом испытываются только днища порш­ней. Отверстия в бобышках в этом случае заглушаются;

*операция* 55 - сверление наклонных отверстий в канав­ках под маслосъемные кольца производится на радиально-сверлильном станке с помощью кондуктора. Поршень уста­навливается под наклоном на специальном угольнике так, чтобы оси отверстий были перпендикулярными к столу станка. Часто угольники снабжаются целительным приспо­соблением;

*операция* 60 - шлифование наружной поверхности поршня - производится на круглошлифовальном станке (рис. 77, *а*).

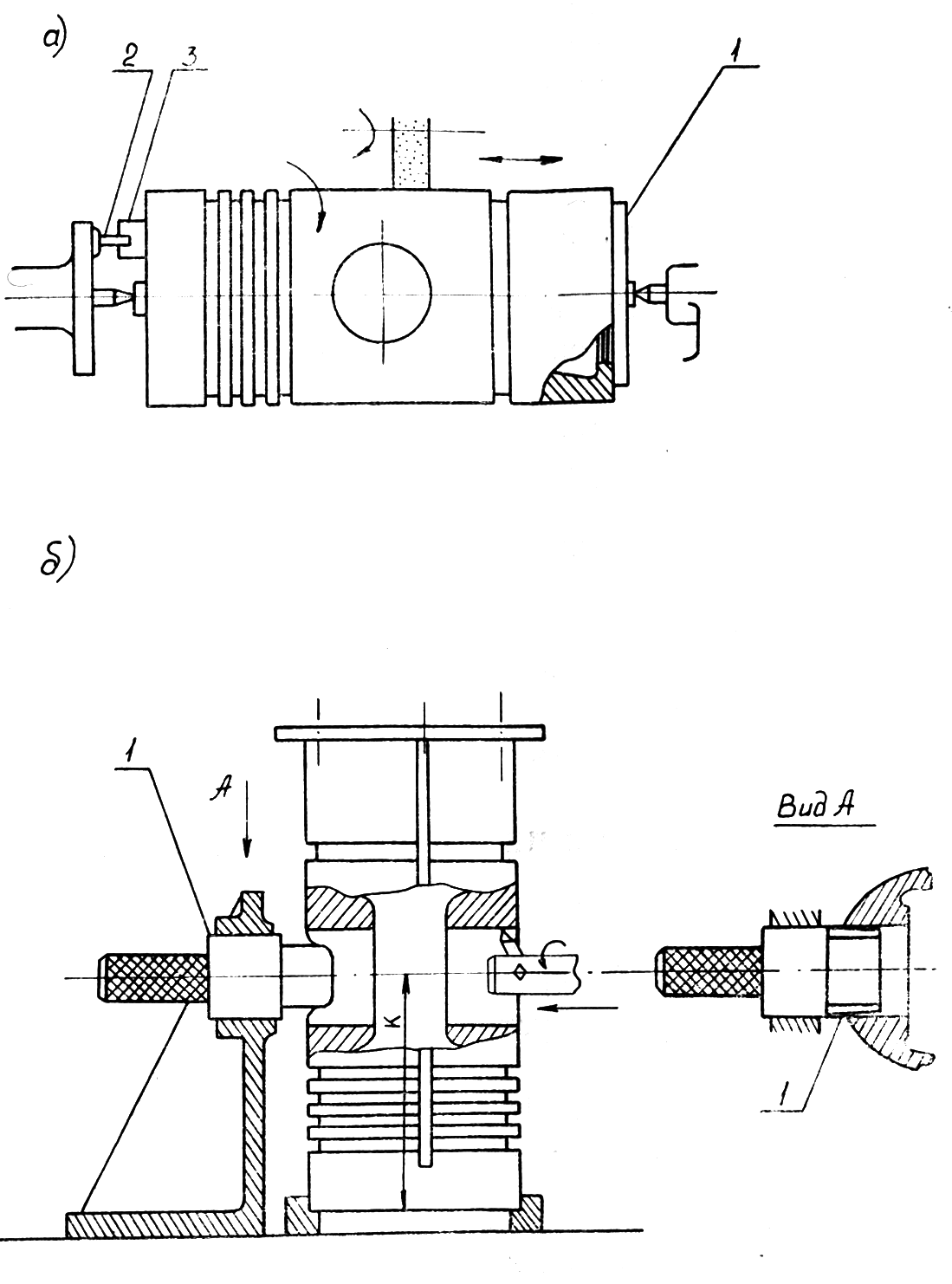


Рис. 77. Завершающая обработка поршня: а) шлифование наружной поверхности; б) тонкая расточка отверстий в бобышках

Поршень устанавливается в центры, причем в нижнем торце устанавливается специальный центровой диск 1. Если центровая бобышка на верхнем (днище поршня не срезана, то передний центр упирается в нее, а для при­вода от поводка 2на днище устанавливается специальный магнитный упор 3*.*

В этой же операции зачищают торцом абразивного круга кольцевую плоскость на верхнем торце поршня (она служит установочной базой для расточки отверстия под палец);

*операция* 65 - срезка центровой бобышки на верхнем днище поршня (если она не была срезана раньше) —выпол­няется на токарном станке;

*операция* 70 - тонкая расточка отверстия под палец – выполняется на тонкорасточном или планетарно-шлифовальном станке. Установочной базой служит шлифованная коль­цевая плоскость на верхнем торце поршня. Правильное по­ложение поршня по отношению к шпинделю станка дости­гается конусным установочным пальцем 1, вводимым в от­верстие под палец со стороны бобышки, противоположной обрабатываемой (рис. 77, *б*).

Соблюдение размера *к* обеспечивается точной установкой шпинделя по высоте.

***Контроль обработки поршней.*** Поршень — одна из наиболее ответственных деталей двигателя, поэтому он подвергается тщательному контролю как в процессе обработки, так и после нее.

Окончательный контроль состоит из следующих операций:

1) наружный осмотр с целью проверки шероховатости обработки (по образцу) и выявление дефектов материала и обработки;

2) проверка геометрических размеров отдельных поверх­ностей с помощью универсального и специального измери­тельного инструмента;

3) проверка расположения наиболее ответственных поверхностей (например, отверстия в бобышках, образующей поршня и т. н.);

4) проверка массы поршня.

Обработка поршней небольшого размера из алюминие­вого сплава при серийном производстве проводится по аналогичной технологической схеме, однако характеризуется применением большого количества приспособлений и полным отсутствием разметки.

***2. Технология производства поршневых колец***

Поршневые кольца предотвращают утечку газов из камеры сгорания в картер через зазор между поршнем и гиль­зой, обеспечивают необходимое сжатие воздуха в цилиндре, отводят тепло от поршня, устраняют попадание масла в ка­меру сгорания. Они должны хорошо прилегать к стенкам цилиндра, сохранять упругие свойства при нагреве и обла­дать хорошими антифрикционными свойствами и износостой­костью.

Твердость колец обычно 190…230 НВ. Готовые кольца подбирают к цилиндрам с твердостью, на 10...20 НВ меньше твердости втулок. Если твердость колец несколько пре­вышает твердость втулки, это нельзя считать недостатком. В отношении износа поршневые кольца находятся в худших условиях, чем втулки, так как работа трения, отнесенная к единице поверхности кольца, всегда больше, чем у втулки. Поэтому диаметральный износ кольца в несколько раз боль­ше, чем у втулок цилиндра. Кроме этого, следует иметь в виду, что кольца из мягкого чугуна (с твердостью меньше 170 НВ), насыщаясь твердыми частицами (продуктами сго­рания, износа и т. д.), вызывают усиленный износ цилиндров.

Исходя из условий работы поршневых колец, материалом для их изготовления служит обычно чугун марок СЧ21и СЧ24 с повышенным содержанием фосфора (до 0,5...0,9 %) и с присадками хрома или других легирующих элементов.

В быстроходных двигателях для колец, главным образом верхних, часто используют марганцовистую сталь 65Г или жаропрочную молибденовую 50М, что повышает прочность и упругость колец. Для придания стальным кольцам анти­фрикционных свойств и уменьшения износа их покрывают пористым хромом.

Для ускорения приработки и повышения износостойкости применяется разнообразное покрытие: лужение, свинцевание, фосфатирование, оксидирование и другое. Иногда в кольцах предусматриваются канавки для антифрикционного материала.

В качестве заготовок для чугунных поршневых колец применяются литые полые барабаны (маслоты) на несколько колец с отлитым на одном конце фланцем для удобства закрепления на станке, а также литая заготовка на одно кольцо.

Преимущества индивидуальной отливки заключаются в том, что в ней, благодаря небольшому сечению, получается однородная мелкозернистая структура с повышенными механическими свойствами, оставляются меньшие припуски, удешевляется механическая обработка и лучше используется естественная упругость наружных слоев материала. Этот метод применяется, главным образом, в массовом производ­стве для колец диаметром менее 180 мм, так как он связан с большими первоначальными затратами на устройство слож­ной формовки и отливки колец (в виде многорядных стопок).

Заготовки отливаются в земляные и металлические формы, применяется также центробежное литье (для маслот). В по­следнем случае на рабочей поверхности колец получается слой наиболее плотного мелкозернистого и однородного ме­талла. В сечении заготовки могут иметь форму окружности (цилиндр) или овала; выбор формы определяется последую­щим методом механической обработки.

Заготовкой для стальных колец служит катаная калиброванная полоса.

*Требования к механической обработке поршневых колец следующие:*

1) должны быть обеспечены упругие свойства, которые соответствовали бы увеличению рабочего зазора в замке, *а* до зазора *а0* в свободном состоянии (рис. 78);

2) должна быть обеспечена цилиндричность кольца в сжатом состоянии. Радиальный зазор (просвет) между кольцом и калибром (соответствующим номинальному диа­метру цилиндра) допускается не более чем в двух местах на дуге, не более 30 ° в одном месте и должны быть не более 0,02 мм для колец с наружным диаметром до 160 мм; 0,03 мм для колец с наружным диаметром от 160 до 320 мм; 0,05 мм для колец с наружным диаметром свыше 320 мм;

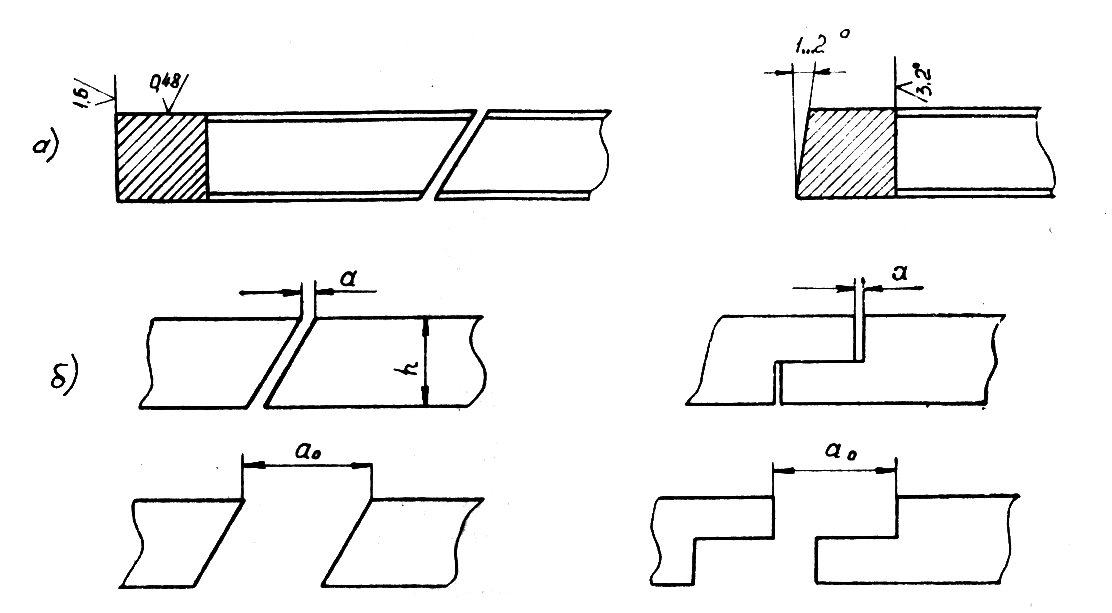


Рис. 78. Поршневые кольца

3) колебания радиальной толщины в одном кольце не должны превышать 0,1 мм при диаметре до 160 мм и 0,2 мм при диаметре свыше 160 мм;

4) коробление торцевой поверхности кольца не должно быть более 0,03 мм для диаметра до 320 мм и 0,05 мм для диаметра свыше 320 мм;

5) допуск параллельности торцевых поверхностей на диа­метр кольца не должен быть больше допуска на его высоту;

6) наружная цилиндрическая и коническая поверхности верхнего компрессионного кольца диаметром до 250 мм для четырехтактного двигателя должны быть покрыты пористым хромом.

Верхние компрессионные кольца для двухтактных двига­телей, а также четырехтактных диаметром свыше 250 мм должны иметь на этих поверхностях приработочное покры­тие или приработочные вставки;

7) на поверхностях готовых колец не допускаются тре­щины, раковины, рыхлости, лыски, заусенцы и забоины;

8) шероховатость обработанных поверхностей колец дол­жна быть не менее указанной на рис. 78, *а.*

Поршневые кольца изготовляют несколькими методами, которые различаются способом достижения упругих свойств, а также формой получаемой заготовки. Как известно, гото­вое кольцо в рабочем (сжатом) состоянии должно иметь форму окружности, в свободном же состоянии оно прини­мает овальную форму.

*1-й способ*: упругие свойства кольца достигаются за счет выреза части кольца — а0. Этот способ применяется при изготовлении колец со ступенчатым замком.

При этом возможны несколько вариантов изготовления:

1) заготовка цилиндрической формы; предварительное точение по цилиндру; разрезка на отдельные кольца; вырез части кольца; стягивание кольца; окончательная обработка для получения цилиндрической формы. Недостаток: кольцо при стягивании встык перед окончательной обработкой при­нимает овальную форму; поэтому приходится оставлять большой припуск на чистовую обработку, и неравномерность его съема при точении приводит к перераспределению напря­жений в кольце и впоследствии вызывает его деформацию и нарушение сопрягаемости с поршнем и цилиндром. Способ отличается большой трудоемкостью;

2) заготовка цилиндрической формы; предварительное точение по овалу с помощью копира. Форма овала должна быть такой, чтобы кольцо после вырезания а0 и сжатия концов встык приобрело правильную цилиндрическую форму. При этом варианте улучшается качество колец. Недоста­ток: необходимость в сложных копирных устройствах и зна­чительные отходы при предварительном точении;

3) заготовка овальной формы, может быть в виде бара­бана или индивидуальной отливки, соответствует форме коль­ца в свободном состоянии; литейные припуски на наружной и внутренней поверхностях 4...5 мм. Из каждого барабана вырезают 8...10 колец. Этот вариант характеризуется до­статочно высоким качеством колец и малыми отходами ме­талла.

Применяется следующий порядок операций при обработке заготовок колец крупного диаметра с вырезом части кольца (поршне­вое кольцо со ступенчатым замком закрытого типа);

*операция* 05 - предварительная обточка и расточка барабана по овалу на специальном копировальном карусельном станке. Вдоль образующей барабана в плоскости малой оси эллипса резцом наносится риска, обозначающая место будущего замка у колец;

*операция* 10 - термообработка для снятия напряжении (от­пуск с нагревом до 450...500 °С и медленное охлаждение вместе с печью);

*операция* 15 - разрезка барабана на отдельные кольца с при­пуском на торцах под шлифование - выполняется на кару­сельном станке;

*операция* 20 - разметка ступенчатого замка с учетом участ­ка *в* под вырезку (рис. 79, *а)*;

*операция* 25 - ступенчатая обработка кольца (фрезеруется ступень на левой части; вырезается участок *в*; фрезеруется внутренняя стенка левой части по радиусу *R,* затем правой части; фрезеруется скос 1);

*операция* 30 - слесарная обработка замка (опиловка, стяжка замка, сверление отверстия и клепка соединение колец);

*операция* 35 - окончательная шлифовка торцевых плоско­стей на плоскошлифовальном станке;

*операция* 40 - окончательная обточка и расточка (рис. 79, *б).* Кольца собирают пачкой, устанавливают на планшайбу 1 станка, центрируют хомутом 2*,* зажимают сверху диском 3 и протачивают, предварительно сняв хомут 2*.* Затем кольца зажимают боковыми планками 4и окончательно растачи­вают. Операция производится на карусельном станке.

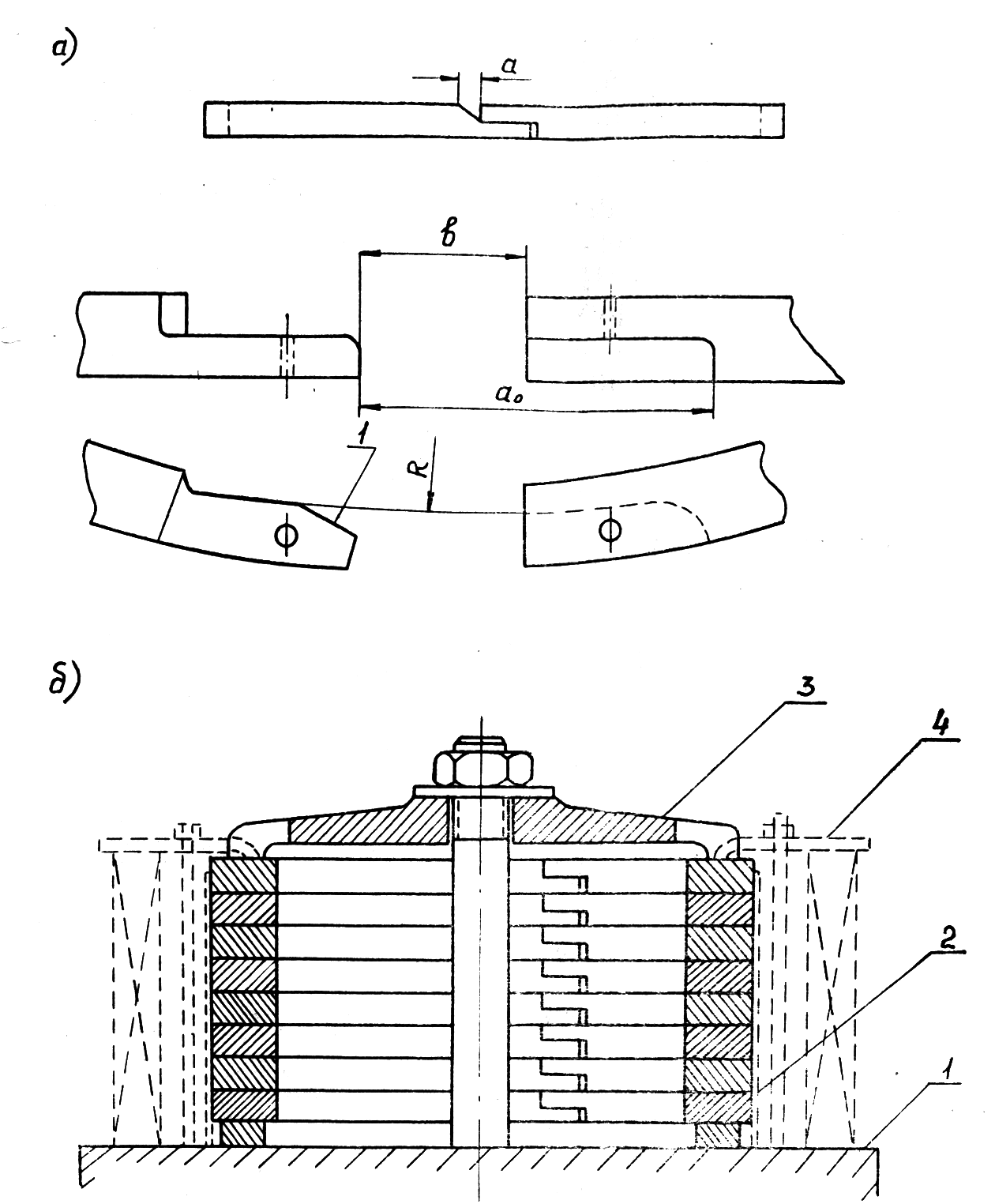


Рис. 79. Обработка поршневого кольца с вырезом его части: а) кольцо со ступенчатым замком закрытого типа; б) обточка и расточка кольца

Заготовка - цилиндрический барабан (маслота) с флан­цем или лапками со стороны прибыли (для удобства закреп­ления на станке).

Порядок операций обработки колец по 2-му способу при мелкосерийном производстве:

*операция* 05- подготовка установочной базы (рис. 80, *а*): под­резка торца 1со стороны фланца и проточка пояска 2с до­пуском 0,2 мм. Операция производится на токарном или карусельном станке;

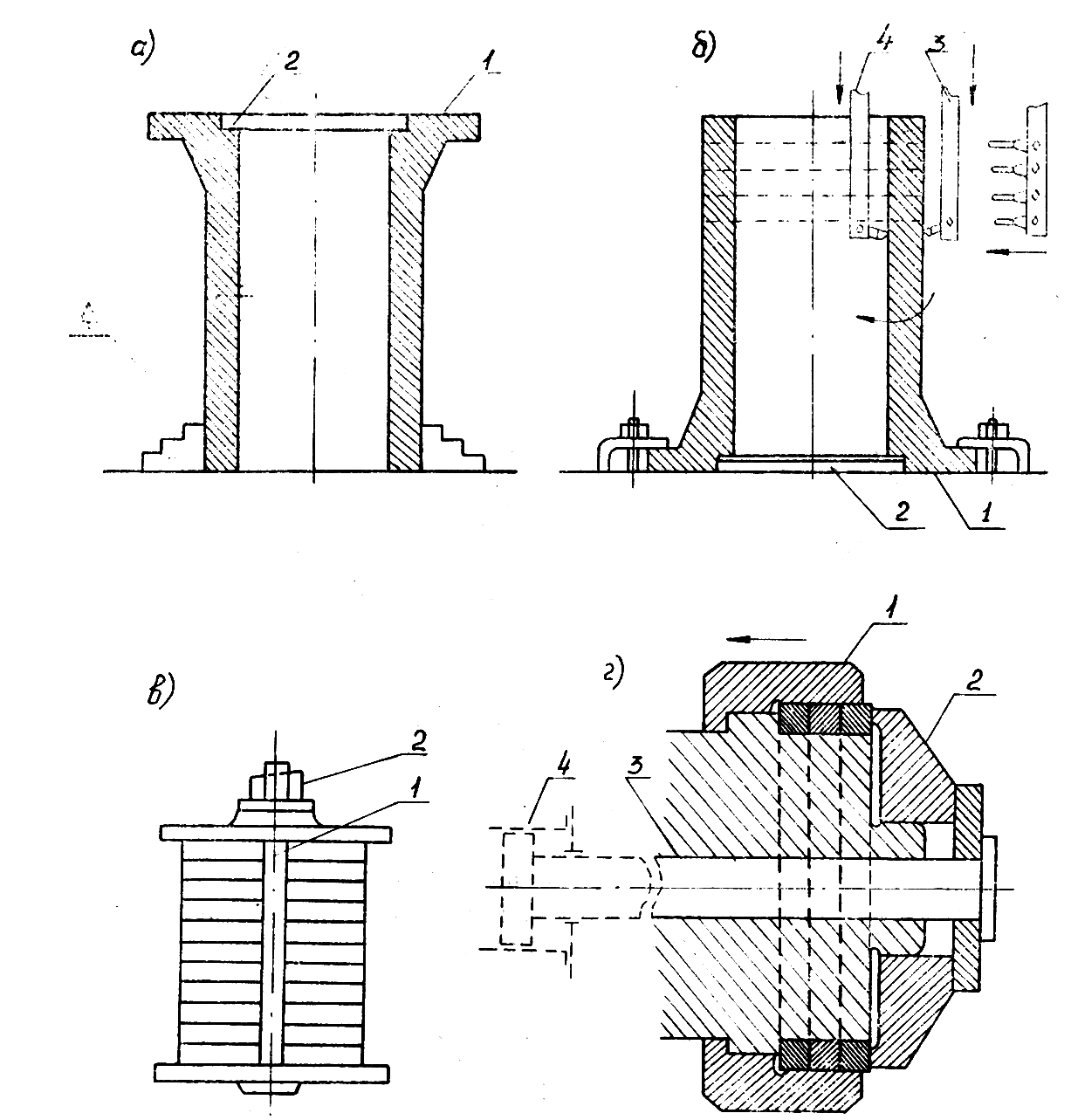
**

Рис. 80. Обработка поршневых колец с термофиксацией замка

*операция 10* - черновая расточка и обточка на токарном или карусельном станке (рис. 80, *б).* Маслота закрепляется флан­цем в планшайбе и центрируется диском 1 по пояску 2*.* Об­работка ведется одновременно двумя резцами обточным 3и расточным 4*.* Здесь же производится отрезка пробного кольца для испытания на твердость;

*операция* 15 - термообработка для снятия напряжений (на­грев до 450°С, выдержка 4 ч, медленное охлаждение вместе с печью). Испытание на твердость, проверка микрострук­туры на пробном кольце;

*операция* 20 - предчистовая обточка на размер D + 0,6 мм с допуском 0,1 мм. Чистовая расточка; отрезка колец на размер ; установка по 2-й операции; отрезка колец с по­мощью державки со ступенчатым расположением резцов (рис. 80, *б*);

*операция* 25 - предварительное шлифование торцов на размер  на плоскошлифовальном станке с магнитным столом;

операция 30 - прорезка замка на горизонтально-фрезерном станке. (Кольцо помещается в приспособлении, установлен­ном на столе станке. Фреза узкая, толщиной 0,5...0,8 мм, равной зазору замка *а*. В случае применения более толстой фрезы увеличение зазора в замке компенсируется увеличе­нием припуска по наружному диаметру);

*операция* 35- термофиксация замка (нагрев до 600 °С, вы­держка 2 ч с охлаждением на воздухе). Кольца надеваются на оправку (рис. 80, *в*); расстояние между концами колец фиксируется сухарем 1*,* размер которого около 1,2 *а*0. Затем кольца сжимаются по торцам и фиксируются клином 2, после чего направляются в печь. После термофиксации кольца при­обретают овальную форму и при сжатии до круглой формы обладают необходимой упругостью (на упругость, твердость и остаточную деформацию кольца проверяют по ГОСТ 7295-81);

*операция* 40 - окончательное шлифование торцов в размер *Н* на плоскошлифовальном станке с магнитным столом (с по­следующим размагничиванием колец);

*операция* 45 - чистовая обточка на размер *D* с допуском *h*9на токарном станке, расточка внутреннего диаметра. Обра­батываются три-четыре кольца вместе (рис. 80, *г*). Кольца устанавливаются в накидную шайбу 1, закрепляются дис­ком 2 и тягой 3с помощью пневматического устройства 4.После закрепления шайбу 1 отводят влево. Фаски снимают у каждого кольца отдельно;

*операция* 50 - калибровка замка в размер *а* на горизон­тально-фрезерном станке. Кольцо устанавливается в калиб­ровочную выточку приспособления, равную диаметру цилин­дра. Иногда калибровка осуществляется слесарями вручную с проверкой щупом в кольцевом калибре;

*операция* 55 - зачистка кромок, фасок и т. д.

Метод термофиксации применяется и при изготовлении стальных колец. Заготовку - катаную полосу - навивают спиралью на цилиндр, разрезают на отдельные кольца. На­девают на оправку с распоркой, сжимают с торцов дисками и подвергают термофиксации. Дальнейшая обработка ана­логична рассмотренной.

*3-й способ*: упругие свойства кольца достигаются пу­тем накатки (насечки) внутренней поверхности. Заготовка - цилиндрический барабан или индивидуальные отливки. За­мок прорезают с шириной рабочего зазора а. Затем следует накатка на токарном или карусельном станке каленым риф­леным роликом. Благодаря эксцентричному расположению детали накатка захватывает только дугу, приблизительно равную 2/3 длины окружности и расположенную против замка.

Недостатки: значительные напряжения и пластические де­формации, величина которых не регулируется. При работе вследствие рекристаллизации материала кольцо может поте­рять свои упругие свойства.

Преимущества: экономия металла (малые припуски) и простота механической обработки. Рекомендуется для нена­пряженных двигателей.

***3. Технология производства поршневых пальцев***

Поршневой палец служит для передачи шатуну усилия от давления газов, действующих на поршень.

Поршневые пальцы могут быть подвижными в поршневой головке шатуна и бобышках поршня (плавающие пальцы) или закрепленными в одном из сочленений.

Поршневой палец подвергается воздействию сил, пере­менных по величине (двухтактные двигатели), а также по величине и направлению (четырехтактные двигатели). Эти силы вызывают в поршневом пальце переменный изгиб и овализацию. Материал пальца работает на усталость.

Износоустойчивость и прочность пальца достигаются при­менением материала с вязкой сердцевиной и твердой по­верхностью (цементация и закалка пальца из малоуглероди­стой стали 15, 15Х, 20ХН или поверхностная закалка ТВЧ пальца из закаливаемой стали, на­пример 40, 45, 40Х, 40ХН). Эта комбинация закаленных и сырых поверхностей является основной трудностью при изготовлении поршневых пальцев.

Повышение усталостной прочности пальцев достигается тщательной полировкой их наружной цилиндрической по­верхности, а иногда и внутренней.

Азотирование наружной и внутренней поверхностей паль­цев также повышает их усталостную прочность.

В качестве заготовки, как правило, используется поковка.

*Требования к механической обработке заготовок поршневых пальцев следующие:*

1) на поверхностях пальцев не допускаются трещины, волосовины, окалина, забоины, а на обработанных поверхно­стях, кроме того, черновины, вмятины и риски;

2) острые кромки на торцах пальцев должны быть округ­лены, а заусенцы зачищены;

3) твердость наружной поверхности пальца после химико-термической обработки должна быть:

- для цементируемых сталей - не ниже 56 HRC;

**-** для азотируемых сталей - не ниже 58 HRC;

- для закаливаемых ТВЧ сталей - не ниже 54 HRC. Разность показаний твердости наружной поверхности на одном пальце не должна превышать 5 HRC.

4) глубина цементируемого слоя наружной цилиндриче­ской поверхности пальцев должна быть:

- при толщине стенки до 10 мм - 0,8...1,3 мм;

- при толщине стенки от 10 до 20 мм - 1,1…1,7 мм;

5) глубина азотированного слоя должна быть не менее 0,35 мм;

6) глубина закаленного ТВЧ слоя устанавливается рабочим чер­тежом;

7) предельные отклонения размеров наружной цилиндри­ческой поверхности пальцев должны быть по 6-му квалитету;

8) допуски формы наружной цилиндрической поверхно­сти не должны превышать 0,005…0,015 мм;

9) предельные значения разностенности пальцев не дол­жны превышать:

- при диаметре пальцев до 50 мм - 0,3 мм;

- при диаметре пальцев от 50 до 80 мм - 0,5 мм;

10) шероховатость обработанных поверхностей пальцев для наружной поверхности *Ra* = 0,10 мкм, а для остальных поверхностей *Ra* = 0,32 мкм.

Применяется следующий технологический процесс изготовления поршневого пальца среднеоборотного двигателя:

*операция* 05 - подрезка и центровка торцов и обдирка наружной поверх­ности - производится на токарном станке. Палец устанав­ливается в центрах. На чистовую обработку оставляется припуск: в средней части (подвергаемой цементации) - 0,25…0,80 мм по диаметру, в концевых частях - до 10 мм на диаметр и по длине - до 5 мм. Необходимость в столь больших припусках на концевых частях возникает только для фиксированных пальцев, где необходимо снять цементи­руемый слой;

*операция* 10 - проверка качества материала - дефектоскопия. Производится при помощи технических средств (магнитоскопия и др.), а также путем погружения пальца в насыщенный раствор соды, которая после высыхания пальца проступает в трещинах;

*операция* 15 - цементация;

*операция* 20 - обточка концов пальцев с припуском под шлифовку 0,25...0,4 мм (в случае фиксированного пальца);

*операция* 25 - сверление гнезда для стопорного болта - вы­полняется на вертикально-сверлильном станке;

операция 30 - слесарная обработка пальца (зачистка заусенцев, отверстии и т. д.);

*операция* 35 - закалка;

*операция* 40 - шлифовка и полировка;

операция 45 - полировка.

*Примечание*: если палец имеет центральное отверстие, получае­мое в цельной поковке, то его просверливают после цементации.

***4. Технология производства шатунов***

В процессе работы шатуны испытывают циклические на­грузки, воспринимаемые ими от поршней, вследствие дей­ствия газов и сил инерции.

Это предопределяет высокие требования к материалу шатунов.

Для шатунов малооборотных двигателей используют, в основном, углеродистые стали: для стержней - сталь 35, для го­ловок - сталь 25, 35, для шатунных болтов - сталь 30.

В многооборотных двигателях в зависимости от степени напряженности для стержней и крышек применяют углеродистую сталь 45, легированные стали 40Х, 45Х, ЗОХНМА, 1ЯХ2Н4ВА (последняя имеет высокую прочность и ударную вязкость). Для шатунных болтов используют ст. 20ХНЗА и 18Х2Н4ВА.

Заготовки шатунов штампуют, при этом форма стержня шатуна, как правило, двутаврового сечения. Отъемные головки шату­нов и крышки нижних головок - литые и штампованные.

Штамповка производится, главным образом, в закрытых штампах, при этом заготовки шатунов могут быть отштампо­ваны вместе с крышкой или раздельно.

Заготовки шатунов небольших размеров чеканят по торцам головок на прессе. В результате этого повышается точность высоты головок, что важно для последующей механи­ческой обработки.

Материал для шатунов тщательно проверяют. Механи­ческим испытаниям подвергают образцы, взятые от каждой детали, для чего у заготовки с одного конца предусматри­вают пробный брусок.

*Требования к механической обработке заготовок шатунов следующие:*

1) допуск параллельности осей отверстий верхней и ниж­ней головок (а также оси отверстия под палец прицепного шатуна) на 100 мм длины не должен превышать 0,03 мм - при межцентровом расстоянии до 350 мм; 0,02 мм - при межцентровом расстоянии свыше 350 мм.

Допуск пересечения осей (перекрещивание) на 100 мм длины не должен превышать 0,05 мм - при межцентровом расстоянии до 350 мм; 0,03 мм - при межцентровом расстоя­нии свыше 350 мм;

2) оси отверстий головок должны быть перпендикулярны к оси стержня и пересекать ее. Допуск перпендикулярности на 100 мм длины - 0,05 мм, допуск смещения осей - до 0,5 мм;

3) допуск параллельности плоскостей разъема нижней головки шатуна относительно оси отверстия не должен превышать 0,2 мм на 100 мм длины;

4) допуск круглости и цилиндричности отверстий верхней и нижней головок не должен превышать 2/3 допуска на диаметр соответствующего отверстия;

5) допуск торцевого биения нижней головки шатуна относительно оси этой головки должен быть не более 0,1 мм на диаметр 100 мм. Допуск торцевого биения верхней го­ловки указывается в технической документации;

6) допуск параллельности опорных поверхностей под головку и гайку шатунного болта относительно оси отверстия под болт на 100 мм длины не должен превышать 0,1 мм - для болтов с диаметром опорной поверхности до 25 мм; 0,07 мм - для болтов с диаметром опорной поверхности свыше 25 мм;

7) допускаемая разность масс шатунов в пределах одной массовой группы или на один двигатель не должна превы­шать 1,5 % - для двигателей с *n* = 500 об/мин; 0,8 % - для двигателей с *n* = 500…1000 об/мин.

Для двигателей с *n* ≥ 1000 об/мин: 0,2 % - с удельной массой двигателя до 2,2 кг/кВт; 0,3 % - с удельной массой двигателя от 2,2 до 7,3 кг/кВт; 0,4 % - с удельной массой двигателя свыше 7,3 кг/кВт;

8) обработка по размерам (рис. 81) производится с точ­ностью, указанной в табл. 9;

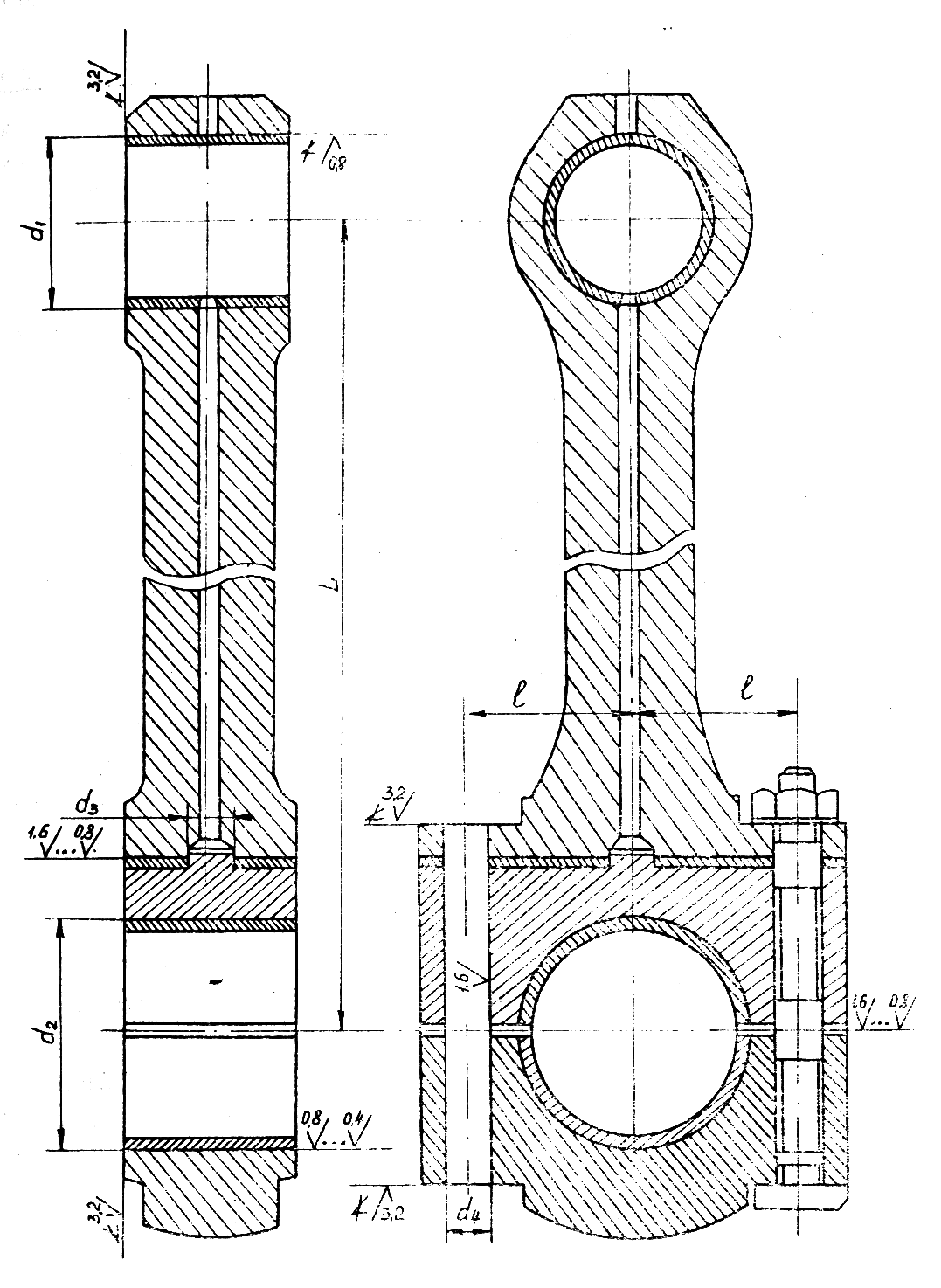


Рис. 81. Шатун

Таблица 9

*Точность обработки шатунов*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер | Поле допуска | Примечание |
| *d1* | *H*6…*H*7 | Отверстие под цельную втулку |
| *d2* | *H*6…*H*7 | Для крупных двигателей H9 |
| *L* | ± 0,1…0,05 мм | Для шатунов без компрессионных прокладок |
| *d3* | *H*7…*H*9 | Отверстие для центрирующей бобышки |
| *d3* | *f*7…*h*6 | Диаметр центрирующей бобышки |
| *d4* | *H*9 | Отверстия под шатунные болты |
| *d4* | *f*7…*e*8 | Шейки шатунных болтов |
| *l* | ± 0,03 мм | Для взаимозаменяемых отъемных головок |

9) шероховатость поверхностей указана на рис. 81. Ша­туны многооборотных двигателей, изготовленные из легированных сталей, полируются кругом до *Ra* = 0,4…0,2 мкм;

10) окончательная расточка отверстия под вкладыши в нижней головке шатуна должна производиться на собран­ном шатуне с затяжкой болтов рабочим усилием.

В качестве примера рассмотрим типовой порядок обра­ботки шатуна с неотъемной нижней головкой (наиболее часто применяемой в двигателях с диаметром цилиндра до 300…350 мм) в условиях мелкосерийного производства.

Заготовка - поковка совместно с крышкой нижней го­ловки, стержень круглого сечения.

Механическая обработка такого шатуна состоит из пяти технологических этапов:

1) обработка до отрезки крышки нижней головки;

2) обработка крышки нижней головки;

3) обработка шатуна без крышки нижней головки;

4) сборка шатуна с крышкой и частичная механическая обработка;

5) обработка шатуна с крышкой в сборе.

Применяется следующий технологический процесс изготовления шатуна:

*операция* 05 - проверка заготовки. Разметка центровых от­верстий, отверстий в верхней и нижней головках шатуна;

*операция* 10 - зацентровка головок (сверление центровых от­верстий) — производится на горизонтально-расточном станке обычным сверлом и зенковкой;

*операция* 15 - черновая обточка стержня и головки на токар­ном станке. В случае штампованной заготовки обработка стержня шатуна не производится;

*операция* 20 - черновое подрезание торцов верхней и нижней головок, вырезание перемычек в отверстиях головок с помощью резцовой головки производится на горизонтально-расточном станке (рис 82, *а*) на чистовую обработку оставляется припуск 1,5...2,0 мм на сторону;

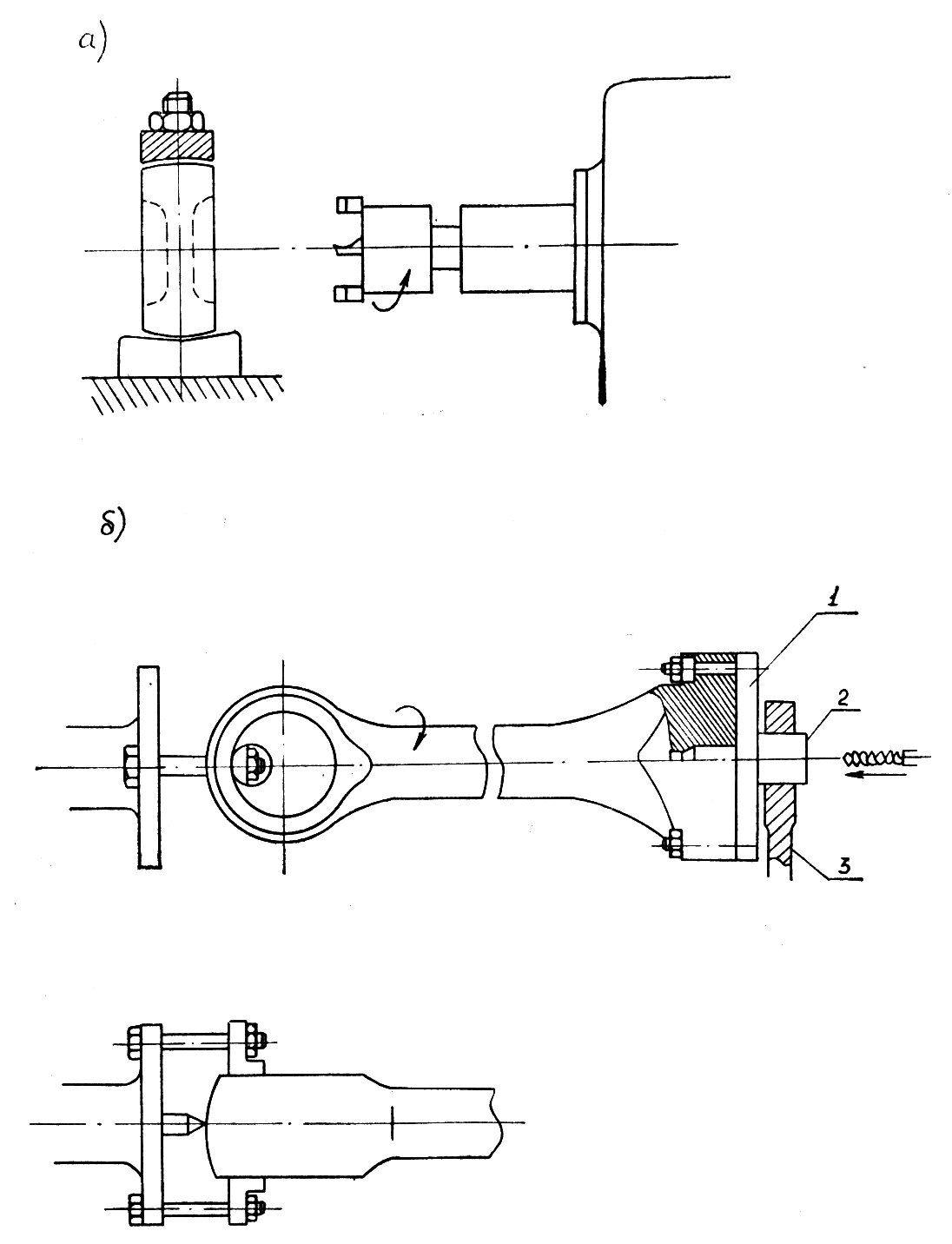


Рис. 82. Черновая обработка шатуна: а) вырезка перемычек в отверстии головки; б) сверление отверстия в стержне шатуна для масла

*операция* 25 - термообработка для снятия напряжений (для легированной стали - закалка и высокий отпуск с получе­нием сорбитной структуры). После термообработки производят все испытания пробных брусков, которые отрезаются круглой пилой. Для шатунов из углеродистой стали после операции 20 термообработки нет: она была сделана до начала механической обработки в виде нормализации;

*операция* 30 - перецентровка головок шатуна и чистовая об­точка шатуна по калибру на токарном станке;

*операция* 35 - отрезка крышки нижней головки на горизон­тально-фрезерном станке. При этом необходимо, чтобы ши­рина разреза была меньше толщины будущего набора про­кладок; кроме того, оставляется небольшой припуск (не­сколько десятых миллиметра) для зачистки плоскостей разъема;

*операция* 40 - сверление центрального отверстия в стержне шатуна и подрезка плоскости разъема с крышкой на токар­ном станке. Для сверления отверстия вдоль ша­туна его закрепляют верхней головкой непосредственно в па­трон токарного станка или используют специальное приспо­собление (рис. 82, *б*), а под цилиндрическую поверхность нижней головки подводят люнет или используют кондук­тор 1*,* шейка 2которого поддерживается люнетом 3*.* Отвер­стия сверлят сперва коротким, а потом удлиненным сверлом, закрепленным в суппорте. Через сверло подается от насоса жидкость для охлаждения и вымывания стружки. Отвер­стия диаметром свыше 40...50 мм сверлят перовым сверлом;

*операция* 45 - фрезерование площадок под головки шатунных болтов на вертикально-фрезерном станке;

*операция* 50 - предварительное сверление отверстий под шатунные болты в стержне на радиально-сверлильном станке в кондукторе. Крышки нижней головки к этому вре­мени обработаны с припуском в гнезде для вкладыша, на боковых плоскостях и отверстиях для шатунных болтов;

*операция* 55 - пригонка и сборка стержня с крышкой на временных болтах и на прокладках (если они предусмо­трены конструкцией);

*операция* 60 - окончательная обработка отверстий под шатунные болты. Зенкерование и развертывание отверстий (временные болты вынимают по одному) под шатунные бол­ты на радиально-сверлильном станке. Постановка калибро­ванных болтов;

операция 65 -чистовая расточка отверстий в головках и шлифование.

При обработке шатунов со стержнями двутаврового про­филя стремятся обеспечить постоянство установочной базы (обычно это боковые плоскости головки шатуна и отверстия в головках). Поэтому обработка этих поверхностей предшествует обработке стержня как при чер­новых, так и чистовых операциях. Обработка двутавра про­изводится на горизонтально- или вертикально-фрезерных станках, а также на копировальных.

***5. Технология производства коленчатых валов***

Коленчатые валы относятся к числу наиболее ответствен­ных деталей ДВС, работающих в условиях знакопеременных динамических нагрузок. Шейки коленчатых валов испыты­вают высокие удельные нагрузки при наличии трения сколь­жения.

По конструкции коленчатые валы бывают (в зависимости от типа, размера и других показателей двигателей) целыми и составными из двух-трех групп кривошипов (колен), кото­рые, в свою очередь, бывают целыми, полусоставными (от­дельно выполняется рамовая шейка) и составными (отдель­ное изготовление рамовых и мотылевых шеек). Различия в конструкции определяют и различия в технологическом, процессе изготовления коленчатого вала.

К материалу коленчатых валов предъявляются весьма высокие требования. Для коленчатых валов обычно применяются углеродистые стали марок 35, 40, 45 и 50Г, которые по сравнению с легирован­ными менее склонны к возникновению различного рода поро­ков и не требуют сложной термической обработки.

Коленчатые валы быстроходных двигателей, в зависимо­сти от степени напряженности, изготовляют из сталей 45, 40Х, ЗОХМА, 40ХНМА и 18Х2Н4ВА. Последняя отличается высокими показателями прочности и ударной вязкости, а так­же износостойкости.

Для улучшения поверхностной твердости и износостойко­сти шеек валов их подвергают закалке токами высокой ча­стоты до 50...55 HRC. Твер­дость шеек и усталостную прочность всего вала из сталей 18Х2Н4ВА и 40ХНМА иногда повышают азотированием, местным наклепом и дробеструйной обработкой.

Находят применение и коленчатые валы, изготовленные из модифицированного и высокопрочного чугуна (например, ВЧ50) с шаровидной формой графита для двигателей самого различного назначения.

Заготовки коленчатых валов получают свободной ковкой, штамповкой и отливкой.

Свободной ковкой получают заготовки валов крупных дви­гателей, выпускаемых малыми сериями, для которых нецеле­сообразно делать сложные и дорогие штампы. Из-за слож­ности конфигурации валов заготовки только отдаленно напо­минают окончательную форму, поэтому при обработке уда­ляется большое количество металла.

При свободной ковке обжимаются только рамовые шейки (рис. 83, *а*). Колена выполняются способом передачи металла. На протянутой из слитка пластине делают кузнечным топо­ром с двух сторон надрубку, а затем отжимают металл трех­гранником. Передвигают несколько ниже боек и смещают металл. Последовательно путем передачи металла образуют колена I, II, III. Затем, делая по концам заготовки уступы, получают концевые рамовые (коренные) шейки, фланец и пробные бруски (рис. 83, *б).* Для получения колен, распо­ложенных под углом, одно колено зажимают между бойка­ми, а соединение с другим разворачивают рычагом и краном (шейку предварительно нагревают во избежание разрыва металла).

В валах, откованных подобным образом, мотылевые шейки получают вырезкой металла в сплошных коленах (рис. 83, *б*), что является существенным недостатком данного способа, так как при этом перерезаются волокна и ослабляется прочность металла вала.

Заготовки валов быстроходных двигателей, выпускаемых, как правило, большими сериями, получают штамповкой в за­крытых штампах (при значительных размерах валов штам­повка производится по частям в секционных штампах). При этом методе волокна в заготовке идут по контуру вала без отрыва.

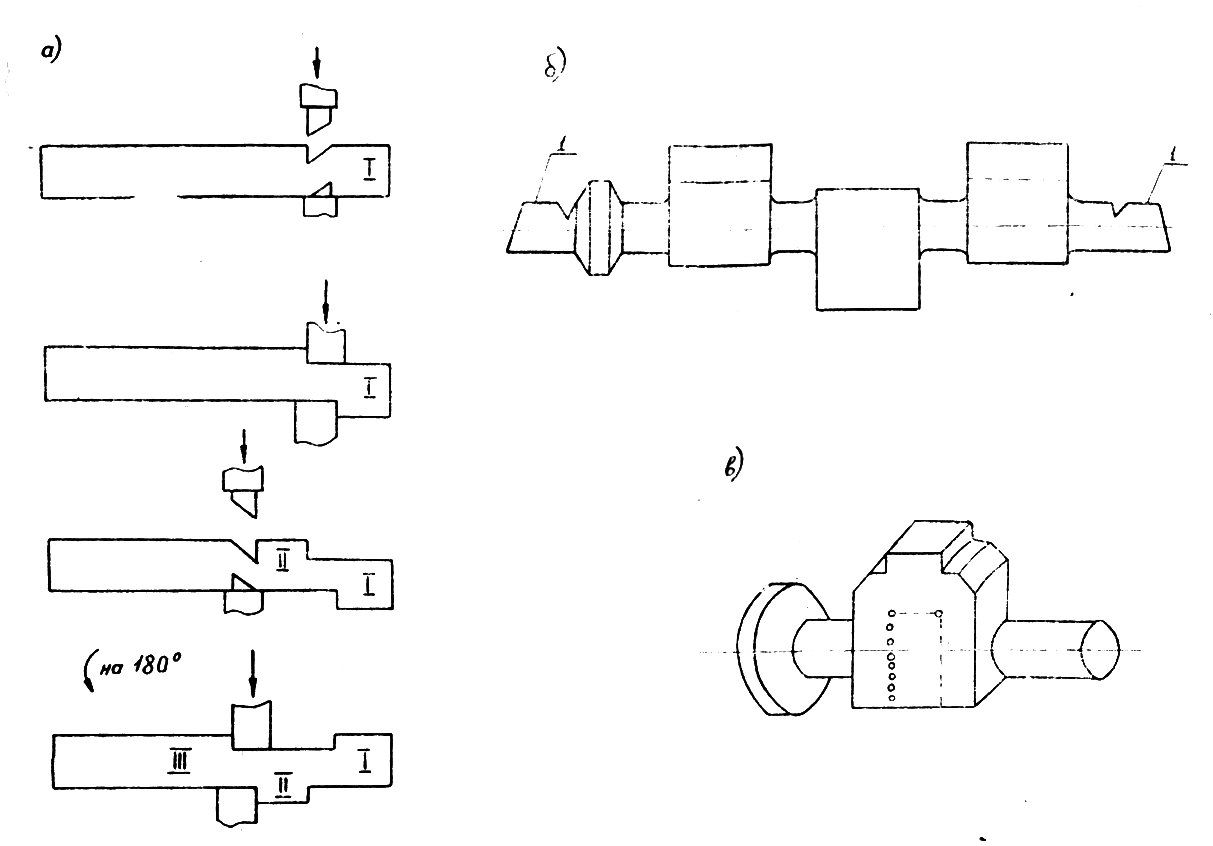


Рис. 83. Заготовки коленчатых валов

Небольшие валы штампуют из проката, более крупные — из слитков. Для удаления пороков с наружной поверхности слиток подвергается механической обработке, затем его слегка осаживают по оси и протягивают на пластину.

Непосредственно после ковки (штамповки) заготовки под­вергают термической обработке: обычной нормализации (при *t* = 850 °С) для углеродистых и низколегированных ста­лей и высокой нормализации для легированных сталей (например, для 18Х2Н4ВА при *t* = 950 °С). Цель термо­обработки - улучшить структуру металла после возможного перегрева или наклепа при ковке, устранить напряжение и облегчить последующую черновую обработку на станках.

Литые заготовки получают в земляных формах (для крупных двигателей), при этом шейки отливаются полыми, или в оболочковых формах (для автотракторных двигателей). Литые заготовки подвергаются рентгенографическому контролю для выявления внутренних скрытых раковин.

*Требования к механической обработке заготовок коленчатых валов следующие:*

1)оси всех рамовых шеек должны лежать на одной пря­мой. Несоосность рамовых (коренных) шеек при соосных опо­рах рамы приводит к появлению в вале дополнительных на­пряжений (постоянного знака) и к увеличению опорных ре­акций. Допуск абсолютного радиального биения составляет 0,03…0,04 мм при *dШ* ≤ 180 мм и 0,05...0,06 мм для шеек большего диаметра (абсолютное биение - биение шейки относительно оси, про­ходящей через крайние рамовые шейки), допуск относитель­ного радиального биения соседних коренных шеек - не более 0,02 мм при *dШ* ≤ 180 мм и не более 0,03...0,04 мм для большего диаметра;

2) ось каждой мотылевой (шатунной) шейки должна быть параллельна оси рамовых шеек. Допуск параллельно­сти осей — 0,03 мм на 100 мм длины;

3) торцевая плоскость соединительного фланца должна быть перпендикулярна к оси вала. Допуск торцевого биения при жестком соединении фланца - не более 0,005 мм на каждые 100 мм диаметра, при прочих соединениях - не бо­лее 0,03 мм на 100 мм диаметра.

4) углы разворота между мотылями относительно любого мотыля, принятого за базу, должны быть выдержаны в пре­делах ± 30 °;

5) обработка по размерам (рис. 84) ведется с точностью, указанной в табл. 10;

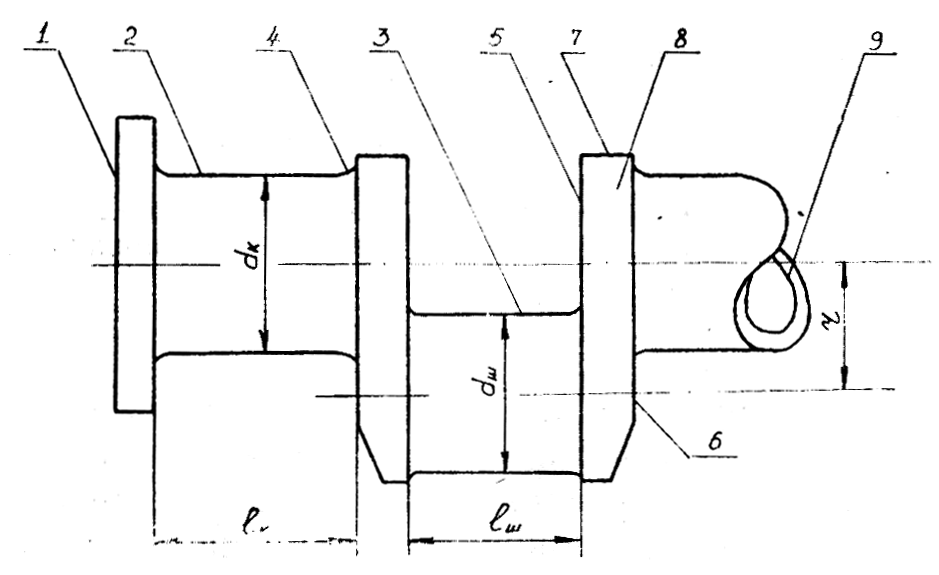


Рис. 84. Обрабатываемые поверхности коленчатого вала

Таблица 10

*Точность обработки коленчатого вала*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Размер | Поле допуска | Примечание |
| *dК* | *h*6 | Для валов всех диаметров |
| *dШ* | *h*6 | Для валов всех диаметров |
| *lК* | *H*10 | Длина коренных шеек |
| *lШ* | *H*10 | Длина шатунной шейки в случае фиксации по ней шатуна от осевого перемещения |
| *r* | ± 0,15 мм | На 100 мм радиуса кривошипа (r – радиус кривошипа) |

6) механические свойства валов должны соответствовать показателям, установленным в зависимости от марки стали и категории прочности. Обязательными по­казателями механических свойств являются предел текуче­сти, относительное сужение, ударная вязкость и твердость;

7) каждый коленчатый вал должен быть динамически сбалансирован. Одно- и двухколенные валы, а также валы, работающие с частотой вращения n<1000 мин-1, допуска­ется балансировать статически. Допускаемый дисбаланс ука­зывается в рабочем чертеже;

8) шероховатость обработанных поверхностей коленча­тых валов указана в табл. 11.

Таблица 11

*Шероховатость обработки коленчатого вала*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер поверхности | Шероховатость  поверхности *Ra*, мкм | Примечание |
| 1 | 1,6 |  |
| 2, 3 | 0,2 | Для шеек с *dШ* < 100 мм |
| 2, 3 | 0,4 | Для шеек с *dШ* > 100 мм |
| 2 | 0,8 | Для шеек на подшипниках качения |
| 4 | 0,4 | Все галтели |
| 5, 6, 7, 8 | 12,5 | Для тихоходных двигателей |
| 5, 6, 7, 8 | 0,4 | Для быстроходных двигателей (валы из легированных сталей) |
| 9 | 1,6…0,8 | Все отверстия |

Применяется следующий технологический процесс изготовления коленчатого вала двигателя средней мощности при мелкосерийном производстве из цельнокованой заготовки с учетом:

1) обдирочные операции отделяются от чистовых;

2) наибольшие трудности в механической обработке ко­ленчатых валов обусловливаются их относительно малой жесткостью, поэтому для обеспечения наименьших деформаций валы устанавливают и закрепляют по поверхностям, рас­положенным как можно ближе к обрабатываемым частям вала;

3) пробные бруски у легированных сталей обычно отрезаются в механическом цехе после термообработки, у угле­родистых сталей - в кузнечном цехе после поковки вала.

*операция* 05 - проверка поковки, разметка под обработку. В механический цех поковка может поступать либо в виде пластины, либо в уже частично обработанном виде (рамовые шейки предварительно образованы, колена развернуты - рис. 83, *б).* Ниже рассматривается второй случай. Операция производится на разметочной плите с помощью обычных приспособлений;

*операция* 10 - зацентровка торцев на горизонтально-сверлиль­ном или специальном центровочном станке;

*операция* 15 - обдирка рамовых шеек, наружных сторон щек, затылков мотылей, скосов. Операция выполняется на круп­ногабаритном токарном станке, как правило, снабженном двумя или четырьмя суппортами, которые располагаются с передней и задней сторон станка. Вал устанавливают одним концом в кулачки патрона, другой конец поддержи­вается центром. Прежде всего производят обдирку и обточку шеек под люнеты, причем вначале обтачивают крайнюю шейку со стороны задней бабки. Чтобы избежать быстрого износа и разработки центрового отверстия, используют вра­щающийся задний центр. После обработки крайней шейки вал снимают с центра и устанавливают на люнет. Обработка в люнетах дает возможность снимать стружку большого се­чения, не опасаясь прогиба вала. После черновой обточки оставляют припуск 3...5 мм на сторону для чистовой обработки;

*операция* 20 - фрезерование боковых поверхностей щек. Операция производится на продольно-фрезерном станке при установке коленчатого вала в призмах. Установочной базой слу­жат рамовые шейки. На чистовую обработку оставляют припуск около 5 мм;

*операция* 25 - разметка контура мотылей для вырезки ме­талла (формирование мотылей). Поскольку вырезка может производиться несколькими способами (высверливанием, выстрогиванием и др.), то и разметка производится по-разному. В первом случае по контуру мотыля размечают и закернивают все отверстия, подлежащие сверлению, с перекрытием друг друга на 2...3 мм; во втором размечается только гра­ница долбления и два вспомогательных отверстия в углах контура для поворота и вывода резца (рис. 83, *в*);

*операция* 30 - вырезка (высверливание) металла для обра­зования кривошипа (мотыля). Удаление металла может производиться следующими способами:

- высверливание по контуру;

- долбление по контуру;

- вырезка круглой или ленточной пилой;

- газовая резка.

Метод высверливания материала требует последующей зачистки долблением оставшейся зубчатой поверхности, что­бы при обточке мотылевой шейки предохранить резец от ударов.

Весьма производительный метод - газовая резка. Ранее считалось, что она вредно влияет на структуру металла. Однако, оставляя припуски 5...10 мм, можно в дальнейшем полностью удалить дефектный слой;

*операция* 35 - черновая обточка мотылевых шеек и внутрен­них сторон щек. Применяется специальный станок с вра­щающимся суппортом (рис. 85).

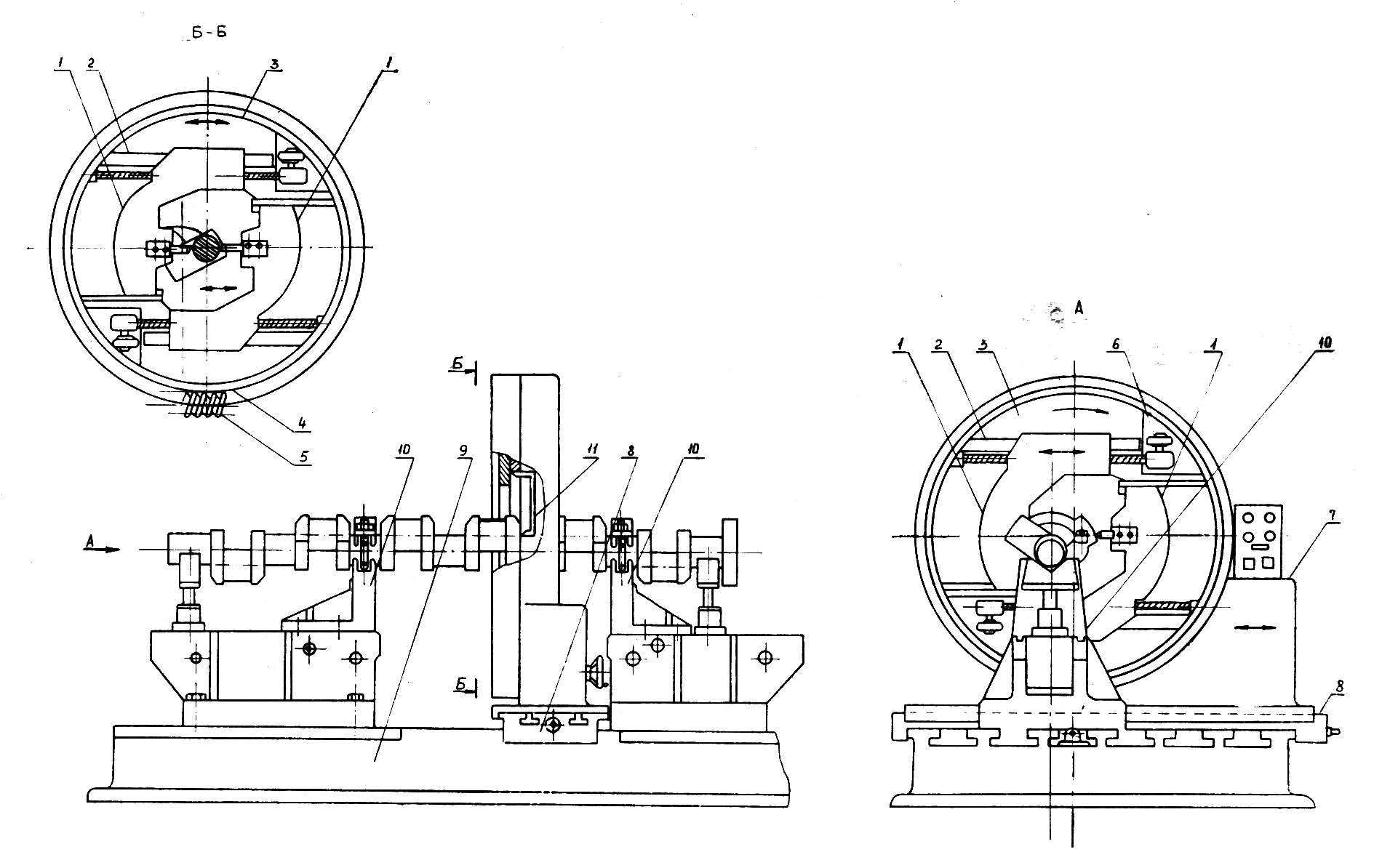
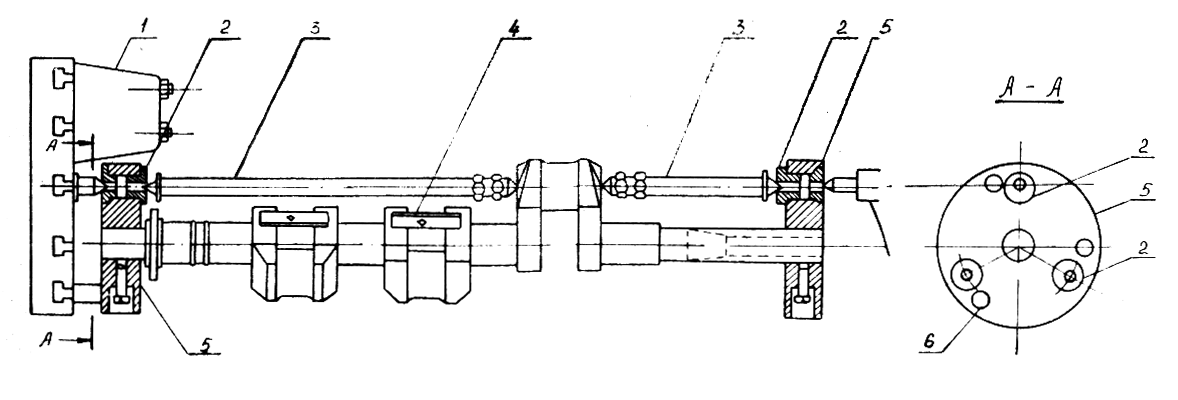


Рис. 85. Обточка мотылевых шеек вала на станке с вращающимся суппортом

Коленчатый вал уклады­вают рамовыми шейками как базовыми поверхностями на призматические стойки 10*,* установленные на станине стан­ка 9*.* Коленчатый вал закрепляют неподвижно. Корпус 7 суппорта может передвигаться вдоль станины 9станка; кроме того, он снабжен направляющими 8для поперечного пере­мещения. Внутри корпуса суппорта помещено кольцо 3*,* снабженное зубчатым ободом 4и получающее вращательное движение от червяка 5, - таким образом осуществляется главное движение инструмента. К кольцу прикреплены две призматические направляющие 2*,* по которым в радиальном направлении передвигаются два суппорта 1с резцами. Дви­жение передается от электродвигателя 6*.*

Ось обрабатываемой мотылевой шейки совмещают с осью вращающегося кольца поворотом коленчатого вала вокруг оси и поперечным передвижением корпуса суппорта 7. Для проверки установки вала служит скоба 11*,* которой измеряют расстояние от накерненного центра мотылевой шейки на наружной стороне щеки до внутреннего пояска на вращаю­щемся кольце. При обточке шейки резец подается продоль­ным движением корпуса. Для подрезки внутренних сторон щек подачу осуществляют радиальным перемещением суп­портов с резцами. Одновременно обтачивают закругления на нижних поверхностях щек.

При отсутствии станка с вращающимся суппортом моты левые шейки обтачивают на токарных станках (рис. 86). На концы коленчатого вала надевают диски 5, снабженные центровыми втулками *2,* положение которых должно соответ­ствовать осям обтачиваемых мотылевых шеек.



*Рис. 86. Обточка мотылевых шеек на токарном станке*

Диски для вала устанавливают на плите, тщательно выве­ряя их угловое положение по разметочным рискам. Чтобы увеличить жесткость вала и уменьшить деформации, между щеками и дисками по оси центров станка устанавливают распорки 3*,* а не обрабатываемые в данной установке мотыли скрепляют планками 4и болтами. Вращение валу передают поводком через отверстие 6в диске. Из-за вращения боль­ших неуравновешенных масс такой метод малопроизводите­лен и недостаточно точен. Прикрепление к планшайбе тяже­лого свинцового противовеса 1лишь частично устраняет этот недостаток;

*операция* 40 - сверление отверстий в шейках. Отверстия в рамовых шейках обрабатывают на универсально-расточ­ном или горизонтально-сверлильном станке. Их сверлят спи­ральными сверлами, а затем растачивают борштангой с рез­цами. Подобным же образом обрабатывают отверстия в мотылевых шейках. Если эти отверстия недоступны для обра­ботки инструментом, установленным в шпинделе станка (мешают фланцы или соседние колена), то используют угло­вые машинки с коническими передачами с приводом от элек­тродвигателя или станка;

*операция* 45 - термообработка. Для углеродистых сталей - отпуск (нагрев до 600…650 °С и охлаждение с печью), для легированных сталей - закалка при 800 °С и высокий отпуск при 500 °С;

*операция* 50 - разметка под обработку боковых и наружных плоскостей, скосов и затылков щек - производится на разме­точной плите;

*операция* 55 - чистовая строжка или фрезеровка боко­вых сторон щек - производится на поперечно-строгальном или фрезерном станке;

*операция* 60 - окончательная обточка затылков, скосов и наружных плоскостей щек - выполняется на токарном станке при установке в центрах;

*операция* 65 - перецентровка вала. Необходимость этой операции обосновывается тем, что при обработке затылков, скосов, наружных сторон щек (особенно при обдирочных операциях) центровые отверстия разбиваются и уже не мо­гут служить надежной установочной базой при обработке рамовых шеек. На универсально-расточном станке растачи­вают пояски в отверстиях рамовых шеек по концам вала. В эти пояски вставляют центровые пробки для последующей установки вала в центры токарного станка.

В некоторых случаях перецентровку производят после термообработки, а обработку затылков, скосов наружных плоскостей щек — в одной операции с обработкой рамовых шеек;

*операция* 70 - окончательная обточка рамовых шеек.

Для обеспечения надлежащей точности обработку проводят в следующей последовательности. Сначала обрабатывают все шейки с припуском 0,4...0,5 мм на сторону, идя от крайних шеек к средним с установкой люнетов под обрабо­танные шейки. Последние проходы часто ведут резцами с широкой режущей кромкой при глубине резания 0,1 мм и подаче 10...15 мм/об. Галтели обрабатывают широкими фасонными резцами;

*операция* 75 - чистовая обточка мотылевых шеек и вну­тренних сторон щек - производится на станке с вращаю­щимся суппортом. Ось мотылевой шейки совмещают с осью вращающегося кольца. В этой же операции может произво­диться полировка мотылевых шеек. Тогда на суппорте вместо резцов закрепляется деревянная колодка с наждачным полотном;

*операция* 80 - разметка отверстий на фланце и шпо­ночного паза для посадки шестерни привода;

*операция* 85 - сверление наклонных смазочных отвер­стий - производится на радиально-сверлильном станке, устанавливая вал под углом. У крупных валов эту операцию про­изводят на универсально-расточном станке;

*операция* 90 - сверление и зенкерование отверстий во фланце с припуском и развертывание их совместно с флан­цем присоединяемого вала - производится на горизонтально-сверлильном или универсально-расточном станке;

*операция* 95 - фрезерование шпоночного паза на верти­кально-фрезерном станке;

*операция* 100 - отделка рамовых шеек. Применяется шли­фование, полирование, чаще микрошлифование (суперфини­ширование). Для последнего создан ряд специальных стан­ков, где бруски автоматически прижимаются к шейкам вала, а также специальные приспособления, позволяющие произво­дить суперфиниширование на токарном станке. Суперфини­ширование производится абразивными брусками с зерни­стостью 400...600. Продукты износа брусков с частицами металла смываются струей керосина. Припуск на суперфини­ширование составляет 0,003…0,015 мм.

Полирование производится эластичными кругами, на ко­торые нанесена абразивная паста. Круги изготавливаются из войлока, фетра, бязи, парусины и кожи; скорость враще­ния кругов до 40 м/с.

Суперфиниширование и полирование не устраняют по­грешности формы.

Притирка применяется в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность размеров и требуемую шерохо­ватость поверхности шейки. Она производится чугунными или медными притирами с притирочными пастами, состоя­щими из мелкозернистого абразивного порошка, смешанного с парафином, маслом, керосином и другими жидкостями. Припуск на притирку 0,005 ... 0,020 мм.

Шлифование мотылевых шеек коленчатых валов меньших размеров может производиться на специальных шлифоваль­ных станках, чаще всего с двухсторонним приводом (рис. 87).

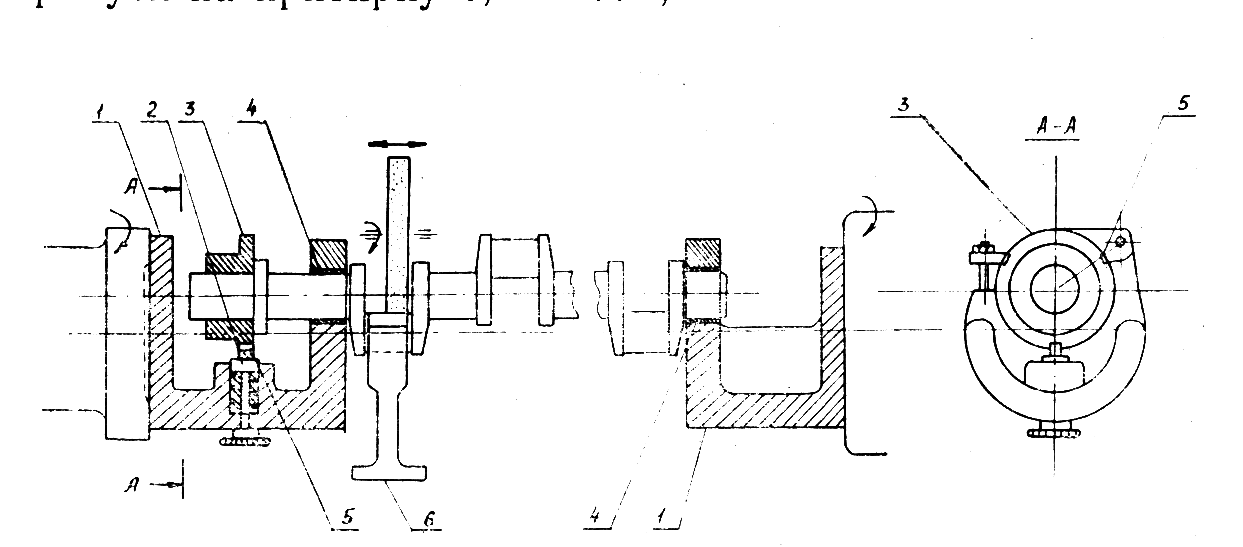


Рис. 87. Шлифование мотылевых шеек

Вал концевыми коренными шейками устанавливают в па­троны 1 с эксцентрично расположенными гнездами 4*.* Все мотылевые шейки шлифуют на одном станке с трех позиций. Для этого на конец вала надевают делительный диск 3*,* снаб­женный тремя пазами 5для фиксирующего штифта 2*.* Поло­жение паза 5 при надевании диска должно строго соответ­ствовать отверстию ближайшей мотылевой шейки, что про­веряется специальным калибром. На каждой позиции шли­фуют пару мотылевых шеек, расположенных в одной плос­кости. Шлифуемые шейки поддерживают люнетами 6*.* При шлифовании шеек используют приборы с индикаторами, поз­воляющие измерять диаметр во время работы станка;

*операция* 105 - балансировка коленчатого вала - производится на специальном балансировочном приспособле­нии (статическая балансировка) или балансировочном стан­ке (динамическая балансировка).

***Балансировка коленчатых валов.*** На балансировку коленчатого вала следует обратить са­мое серьезное внимание, ибо при значительной частоте вра­щения неуравновешенные массы вызывают вибрацию, повы­шенный износ и даже нарушение правильного функциониро­вания двигателя.

Устранение неуравновешенности решается путем включе­ния в технологический процесс изготовления операции балан­сировки - статической или динамической. Балансировку не следует смешивать с уравновешиванием поршневых двига­телей, при котором решается чисто конструктивная задача взаимного уравновешивания в самом двигателе сил инерции движущихся частей.

*Статическая балансировка.* При вращении вала, когда центр тяжести его не лежит на оси вращения, возникает центробежная сила *Q = mrω2*, где *m* - масса вала, равная *G/g*; *r* - расстояние центра тяжести вала от оси вращения; *ω* - угловая скорость вращения, равная (*πn*)/30; *n* - частота вращения вала; *G* - вес вала.

Неуравновешенность вала может являться следствием не только его неправильного изготовления и сборки, но и не­равномерной плотности металла.

Задачей статической балансировки является совмещение центра тяжести коленчатого вала с осью вращения. Процесс осуществляется с помощью приспособления, состоящего из двух параллельных пластин-ножей. Коленчатый вал с неуравновешенной массой, перекатываясь по ножам, самоустанав­ливается так, что его центр тяжести занимает низшее поло­жение. Уравновешивая вал путем удаления металла или до­бавления противовеса, добиваются его нейтрального положения. Таким образом центр тяжести вала совмещают с осью вращения и устраняют действие центробежной силы *Q*.

*Динамическая балансировка.* Рассмотрим два случая неуравновешенности (рис. 88).

В первом случае (рис. 88, *а*) отношение длины к диаметру невелико. Предположим, что влияние неуравновешенности сводится к действию груза М, расположенного в какой-либо точке на окружности диска.

При балансировке важно обеспечить положение центра тяжести диска на оси вращения, что достигается прикреп­лением груза М1. Причем взаимное расположение грузов М и М1 по длине диска в данном случае не играет существен­ного значения, так как длина диска невелика.

Во втором случае (рис. 88, *б*) длина детали значительно больше диаметра. Балансируя эту деталь статически, мы находим значение неуравновешенной массы. Однако здесь уже не безразлично положение уравновешивающего груза по длине, так как в случае расположения его в точках А или В при вращении детали возникает момент от пары цен­тробежных сил, равный соответственно *mrω2l2* или *mrω2l1* (М=М1=М2).

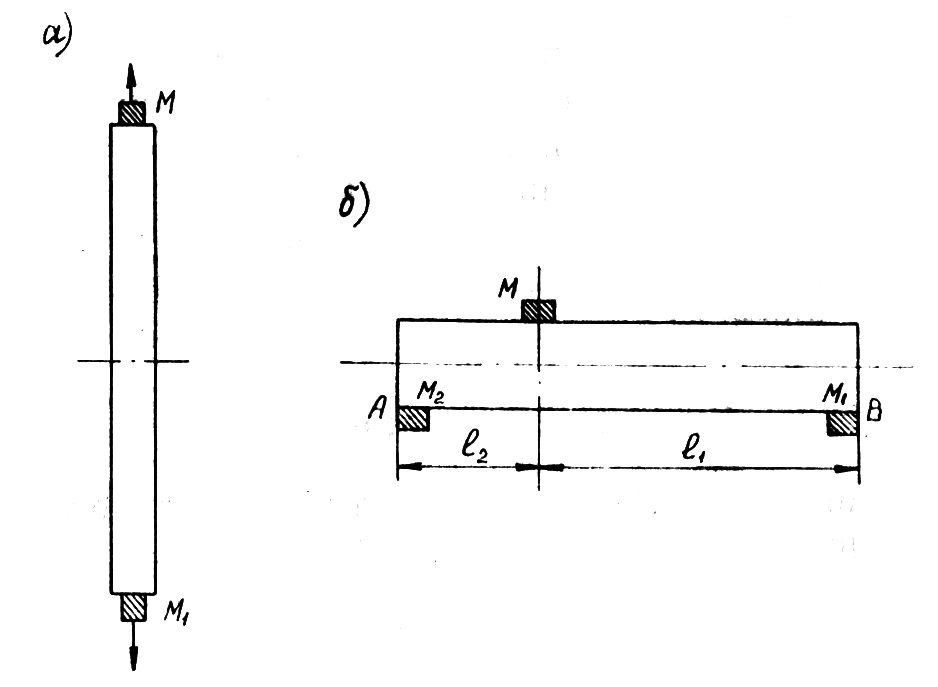


Рис. 88. Балансировка коленчатых валов

Отсюда следует, что при балансировке длинной детали (в частности, коленчатого вала) необходимо обеспечить сов­падение оси вращения с осью инерции.

Балансировка, обеспечивающая соблюдение такого усло­вия, называется динамической. Динамическое уравновеши­вание коленчатых валов основано на теоретической предпо­сылке, что любое число центробежных сил, действующих на вал, может быть приведено к двум равнодействующим цен­тробежным силам, приложенным в плоскостях двух крайних торцов вала. При динамической балансировке добиваются уравновешивания как центробежных сил, так и пары сил. Следует отметить, что динамическое балансирование предпо­лагает наличие и статического балансирования.

В процессе динамической балансировки:

- определяют значение и направление неуравновешен­ных сил;

- устраняют неуравновешенность, прибавляя или снимая уравновешивающие массы в двух произвольно выбран­ных плоскостях приведения, расположенных перпендикулярно к оси вращения.

Принцип работы балансировочных станков состоит в том, что вал устанавливается на две упругие опоры, поддержи­ваемые пружинами. При вращении неуравновешенного вала возникают колебания опор. Эти колебания измеряют при наибольших амплитудах, т.е. в условиях резонанса вала и опоры.

Балансировку выполняют сначала в одной плоскости при­ведения, для чего одну опору жестко закрепляют. Колебания системы происходят в вертикальной плоскости относительно неподвижной опоры. Для уравновешивания к валу прикреп­ляют грузы. Затем таким же образом уравновешивают вал и в другой плоскости, закрепляя уже другую опору.

Избыточные массы удаляют фрезерованием.

В настоящее время балансировочные станки снабжаются электрическими и оптическими устройствами. В частности, на станках с упругими опорами используют электрические методы компенсации дисбаланса с использованием индукци­онных датчиков.