

**Д. Н. КОНОВАЛОВ, Н. В. ХОЛЬШЕВ, Ю. Е. ГЛАЗКОВ,
А.В. МИЛОВАНОВ, А. В. ПРОХОРОВ, С. М. ВЕДИЦЕВ**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ



**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

Д. Н. КОНОВАЛОВ, Н. В. ХОЛЬШЕВ, Ю. Е. ГЛАЗКОВ,
А.В. МИЛОВАНОВ, А. В. ПРОХОРОВ, С. М. ВЕДИЩЕВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия
для бакалавров и магистрантов направлений 23.03.03, 23.04.03
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
и 35.03.06, 35.04.06 «Агроинженерия» всех форм обучения

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

УДК 621.431.73

ББК 34.500.1

Т38

Рецензенты:

Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник ФГБНУ «ВНИИТиН»
И. В. Бусин

Кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»,
заместитель директора МК ФГБОУ ВО «ТГТУ»
А. И. Попов

Т38 **Технологические процессы** изготовления деталей двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. Н. Коновалов, Н. В. Хольшев, Ю. Е. Глазков, А. В. Милованов, А. В. Прохоров, С. М. Ведищев. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 7,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP мыш. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-8265-2586-9

Рассмотрены особенности изготовления основных деталей авто-тракторных двигателей. Большое внимание уделено изучению типовых технологических процессов изготовления гильз цилиндров, шатунов, распределительных и коленчатых валов.

Предназначено для бакалавров и магистрантов направлений 23.03.03, 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 35.03.06, 35.04.06 «Агроинженерия» всех форм обучения.

УДК 621.431.73

ББК 34.500.1

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2586-9

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение традиционно является ведущей отраслью экономики. Развитие машиностроения определяется как разработкой принципиально новых конструкций машин, так и совершенствованием технологий их изготовления. В современном машиностроении развитие происходит по следующим направлениям: повышение возможностей, качества и экономичности средств технологического оснащения (высокопроизводительные станки, инструмент с повышенной стойкостью и т.д.); создание максимально эффективных маршрутов технологических процессов; использование эффективной системы управления и планирования производства; комплексная автоматизация производства, включающая в себя разработку конструкций изделий, технологическое проектирование, календарное планирование и др.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоемкости ее производства. В некоторых случаях целесообразно снижать технологичность изделия для повышения качества продукции, что может значительно повысить конкурентоспособность продукции и компенсировать дополнительные затраты. Критерии построения эффективных маршрутов технологического процесса зависят от типа производства и возможностей предприятия.

Изготовление деталей является основополагающей частью ремонтного производства в современных условиях, позволяет сократить издержки от отсутствия запасных частей к импортной сельскохозяйственной и автомобильной технике.

Основное содержание данного учебного пособия составляют разделы, посвященные изучению типовых технологических процессов изготовления гильз цилиндров, шатунов, распределительных и коленчатых валов, изложенные по единому плану. За основу приняты типовые технологические процессы, прошедшие апробацию в промышленности и базирующиеся на результатах научных исследований и прогрессивном опыте машиностроительных заводов.

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ БЛОКОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

Особенностями конструкций гильз являются относительно малые толщины стенок, большие диаметры и длины их, высокая точность и чистота обработки наружных и рабочей поверхностей.

Рабочая поверхность (зеркало) гильзы должна быть обработана по 1–2-му классам точности и по 9 – 11-му классам чистоты, наружные поверхности и посадочные пояски – по 2–3-му классам точности и по 7–8-му классам чистоты; овальность, конусность и огранка зеркала не должны превышать 0,01...0,03 мм по всей длине гильзы.

Для повышения класса точности соединения поршень–гильза прибегают к селективной сборке этого соединения, для чего в зависимости от номинального диаметра гильзы сортируют их на размерные группы. Количество групп различно. Так, например, гильзы с диаметром зеркала 90 мм сортируют на следующие пять групп:

Группы	А	Б	В	Г	Д
Допуск по диаметру зеркала, мм	+0,000 +0,012	+0,012 +0,024	+0,024 +0,036	+0,036 +0,048	+0,048 +0,060

Биение наружных поверхностей относительно зеркала не должно превышать 0,03...0,08 мм, а биение опорных торцов буртиков 0,02...0,05 мм на длине, равной 0,7...0,8 от величины радиуса цилиндра.

По конструктивным особенностям гильзы автотракторных двигателей делятся на два типа: сухие и мокрые. Применяют два типа сухих гильз: легкоосменные и постоянные. Легкоосменные гильзы устанавливают по скользящей посадке, постоянные запрессовывают. Постоянные сухие гильзы имеют небольшую длину и их иногда называют вставками. Толщина стенок сухих гильз равна 2...4 мм.

В последние годы широкое распространение получают мокрые гильзы со вставками, изготавливаемые из высококачественных легированных чугунов.

Мокрые гильзы всегда легкоосменные и омываются охлаждающей водой; их наружная поверхность является внутренней стенкой водяной рубашки блока цилиндров. Эти гильзы вставляются в направляющие центрирующие пояски блока.

Для надежности посадки и сохранения геометрической формы гильзы во время работы на наружной поверхности таких гильз предусмотрены два направляющих пояска; нижний из них имеет обычно меньший диаметр.

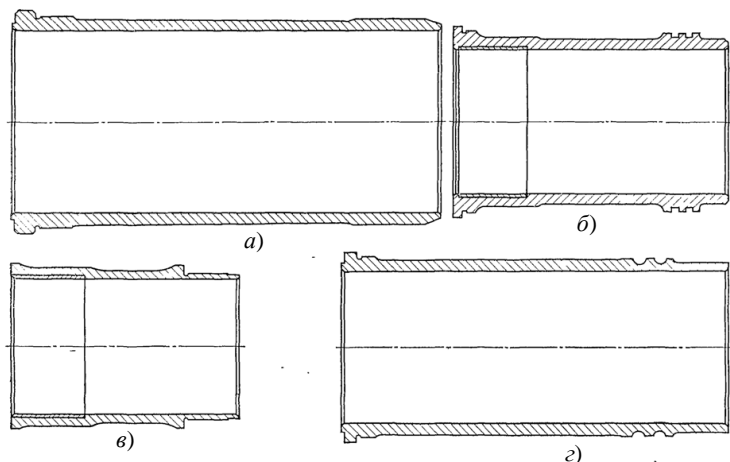


Рис. 1. Виды гильз:

а, б – тракторных двигателей; *в, г* – автомобильных двигателей

Стенки мокрых гильз воспринимают рабочие давления газов и поэтому имеют большую толщину, чем сухие. Толщина стенок стальных мокрых гильз равна 4...7 мм, чугунных 5...9 мм. Наружный диаметр автотракторных гильз обычно находится в пределах 75...150 мм, а длина 150...320 мм (рис. 1).

1.1. МАТЕРИАЛ ГИЛЬЗ

Гильзы работают в условиях повышенных температур, в окислительной среде и подвергаются большим удельным давлениям и абразивному износу.

На рабочие поверхности гильз оказывают корродирующее действие нагретые газы, образующиеся при сгорании рабочей смеси.

Гильзы изготовляют из легированных, хромистых, хромоникелевых и хромокремнистых чугунов. Для изготовления гильз применяют также чугуны типа СЧ 18-36.

Для повышения износостойкости зеркала гильз его иногда покрывают слоем пористого хрома толщиной 0,05...0,08 мм.

1.2. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Заготовки гильз отливают в земляные оболочковые формы, а также во вращающиеся формы центробежным способом.

Заготовки гильз не должны иметь трещин, раковин, свищей, местной рыхлости, пористости, шлаковых засоров, посторонних включений и других дефектов.

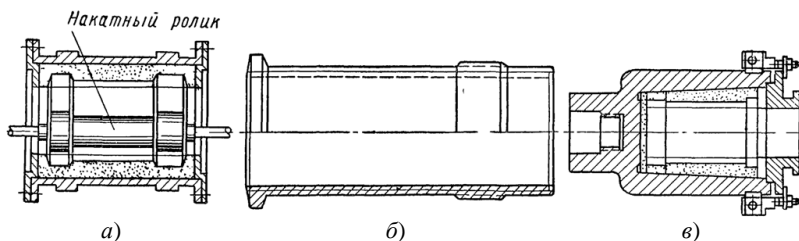


Рис. 2. Формы для центробежной отливки гильзы:

а – сырая накатная форма; *б* – отливка, полученная в сырой накатной форме; *в* – форма, собранная из сухих стержней

Отливку заготовок в земляные формы теперь не применяют, так как литье получается низкого качества.

Более совершенным способом является отливка заготовок в оболочковые (скорлупчатые) формы. Эти отливки имеют точность по 5 – 7-му классам. Припуск на обработку зеркала составляет 1,5–2,0 мм на сторону и 2,0–2,5 мм по наружной поверхности.

Центробежная отливка заготовок выполняется в сырые накатные формы, в охлаждаемую металлическую изложницу или в формы, футерованные песком. Реже применяются формы, собранные из сухих стержней (рис. 2).

Заготовки гильз, отлитые центробежным способом, не имеют смещения по половинам форм и характерны меньшим расходом металла на литники, чем заготовки, отлитые в земляные формы. Но при отливке центробежным способом необходимо иметь увеличенный припуск на последующую механическую обработку зеркала, так как наименее плотные слои металла оказываются внутри. Кроме того, гильзы, отлитые центробежным способом в изложницы, после очистки в дробеструйных камерах следует подвергать отжигу, что ухудшает структуру металла и износостойкость рабочей поверхности. Припуск на механическую обработку заготовок, отлитых центробежным способом, по диаметру зеркала равен 5,0–6,0 мм, а по наружным поверхностям 1,5–2,0 мм на сторону. Точность отливки получают по 8–9-му классам точности.

1.3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВКИ ГИЛЬЗ

Гильза представляет собой тонкостенный цилиндр, который имеет малую жесткость в радиальном направлении и легко деформируется в процессе механической и термической обработки, под влиянием усилий резания и зажима, а также температурных изменений.

Сочетание большой длины и малой толщины стенок гильз затрудняет получение высокой точности основной рабочей поверхности.

Для обеспечения concentричности наружных и внутренних поверхностей приходится их обрабатывать за несколько операций, снимая каждый раз небольшие припуски (во избежание возникновения деформаций).

Наиболее сложной является обработка закаливаемых гильз, изготовляемых из малолегированных чугунов, так как значительные деформации, возникающие в процессе термической обработки, требуют после нее тщательной обработки поверхности гильзы для достижения заданной точности формы, размеров и взаимного расположения основных поверхностей.

Обработка гильз, изготовленных из высоколегированных чугунов, не подвергающихся термической обработке, менее сложна.

Если после термической обработки суммарная деформация не превышает 0,05...0,08 мм, то необходима только окончательная обработка зеркала (обычно двукратное хонингование). При деформации, превышающей указанные значения, после термической обработки следует полуокончательно и затем окончательно обработать зеркало и наружный контур.

В большинстве случаев до термической обработки гильзы обрабатывают по следующему технологическому маршруту:

1) черновое растачивание зеркала со снятием припуска, равного 1,8...2,2 мм по диаметру;

2) черновое обтачивание поясков и подрезание торцов со снятием припуска, равного 1,0...1,5 мм по диаметру и 0,5...1,2 мм по торцу;

3) полуокончатое обтачивание поясков и подрезание торцов со снятием припуска, равного 0,3...0,6 мм по диаметру и 0,3...0,6 мм по торцу.

Черновое растачивание зеркала выполняется обычно на многошпиндельных расточных станках с наклонными или вертикальными шпинделями, расположенными в один ряд.

Для растачивания зеркала в гильзах применяют также шести-, восьми- и двенадцатишпиндельные токарные вертикальные патронные полуавтоматы (например, моделей 1282, 1283, 1284 и 1285) последовательного или параллельного действия. При обработке гильзы на вертикальном шестишпиндельном полуавтомате (последовательного действия на каждой позиции (2, 3 и 4) предварительно растачивается зеркало на 1/3 длины гильзы, а затем начисто, на всю длину (позиции 5 и 6).

На полуавтоматах параллельного действия гильзы обрабатываются на каждом шпинделе во время непрерывного вращения стола. Обработка отверстия гильзы заканчивается за время полного оборота стола.

Зеркало гильзы растачивают резцовыми головками, оснащенными ножами из твердого сплава. После чистового растачивания неточность геометрической формы зеркала колеблется в пределах 0,1...0,15 мм.

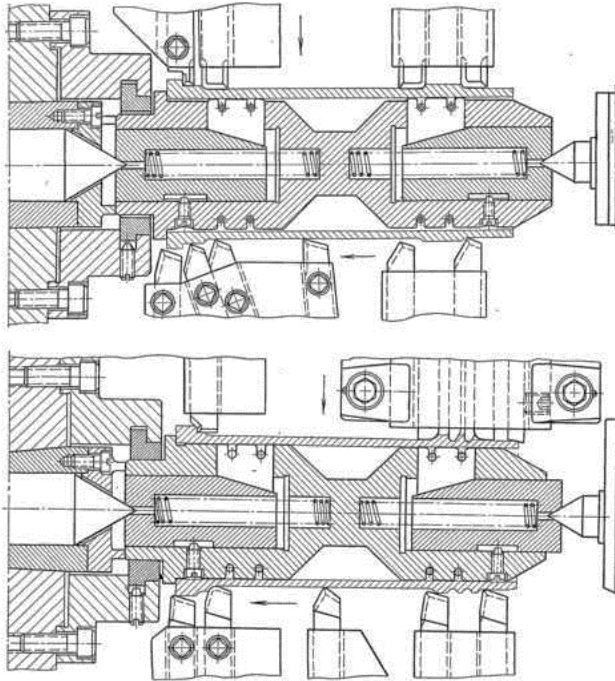


Рис. 3. Обтачивание мокрой гильзы на многорезцовом полуавтомате

Обработка наружных поверхностей. Наружные поверхности мокрых гильз предварительно обрабатывают на токарных многорезцовых или копировальных полуавтоматах.

На многорезцовом полуавтомате заготовку гильзы устанавливают обработанной поверхностью зеркала на разжимную оправку (рис. 3). Посадочные пояски, буртики и наружную поверхность гильзы обрабатывают резцами продольного суппорта, торцы галтели и фаски – резцами поперечного суппорта.

На рисунке 4 показана операция обработки наружных поверхностей мокрой гильзы на токарно-копировальном полуавтомате двумя проходными резцами, установленными в суппорте полуавтомата. Наружная поверхность сначала обрабатывается одним (передним) резцом, а затем вторым (задним).

Механическая обработка тонкостенных сухих гильз несколько отличается от обработки толстостенных мокрых гильз. При обработке наружных поверхностей тонкостенных сухих гильз заготовки устанавливают на две центровые фаски зеркала, а не на разжимные оправки, как это делают при обработке более жестких мокрых гильз.

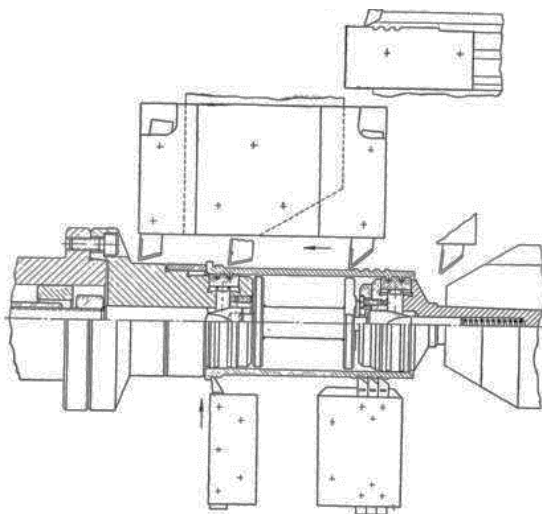


Рис. 4. Обтачивание мокрой гильзы на гидрокопировальном полуавтомате

Центровые фаски растачивают одновременно с двух сторон на первой операции механической обработки (рис. 5, *a*), совмещая обычно растачивание фасок с предварительным подрезанием торцов. Заготовку при этом устанавливают на две разжимные оправки, расположенные в передней и задней бабках токарного полуавтомата. Сравнительно высокая жесткость еще необработанной заготовки позволяет избежать значительных деформаций. При обтачивании наружных поверхностей сухой гильзы на многолезцовом полуавтомате (рис. 5, *б*, вторая операция) гильзу базируют на центрах по двум фаскам и приводят во вращение изнутри специальным поводком, имеющим два тангенциальных кулачка.

Наружную поверхность тонкостенных сухих гильз малой жесткости обычно обрабатывают на токарно-копировальных полуавтоматах. При этом имеют место наименьшие радиальные усилия резания благодаря обтачиванию одним резцом, что обеспечивает более высокую точность обработки, так как усилия разжимных оправок и деформации заготовок меньше.

Наружные поверхности мокрых гильз окончательно обрабатывают на токарно-копировальных полуавтоматах или на круглошлифовальных станках.

Закаливаемые гильзы шлифуют 2 раза (до и после термической обработки).

Для предварительного шлифования поясков этих гильз часто применяют бесцентрово-шлифовальные станки.

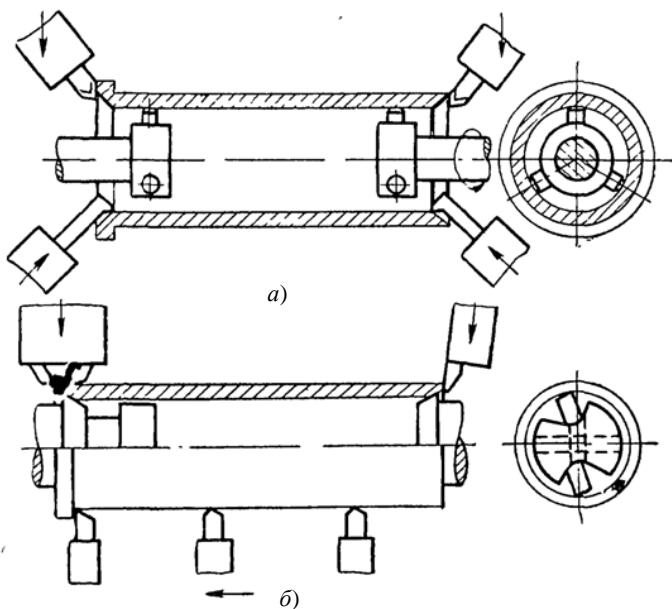


Рис. 5. Обработка сухой гильзы:

a – обработка вспомогательных установочных баз сухой гильзы на токарном полуавтомате; *б* – обтачивание и подрезание торцов

Для обеспечения concentricity наружной и внутренней поверхностей гильзы наружную поверхность мокрых гильз окончательно шлифуют на круглошлифовальных станках. Для шлифования двух поясков гильзы используют также двухкаменные круглошлифовальные станки.

При шлифовании наружных поверхностей применяют разжимные цанговые оправки или оправки с гидропластмассой (рис. 6).

После термической обработки технологический маршрут механической обработки закаливаемых гильз обычно следующий:

- 1) получистовое растачивание отверстия со снятием припуска, равного 0,5...0,8 мм на сторону;
- 2) чистовое обтачивание поясков, подрезание буртов со снятием припуска 0,4...0,5 мм на сторону;
- 3) чистовое растачивание отверстия со снятием припуска 0,2...0,3 мм на сторону;
- 4) чистовое обтачивание конуса, поясков и фасок со снятием припуска 0,2...0,35 мм на сторону;
- 5) предварительное хонингование отверстия со снятием припуска 0,02...0,03 мм на сторону;

6) чистовое хонингование отверстия со снятием припуска $0,01 \dots 0,02$ мм на сторону;

7) чистовое шлифование поясков со снятием припуска $0,15 \dots 0,20$ мм на сторону;

8) окончательное (зеркальное) хонингование со снятием припуска $0,01 \dots 0,02$ мм на сторону.

Для полустачивания зеркала служат те же станки, что и для предварительного растачивания.

Для чистового растачивания зеркала сухих и незакаливаемых мокрых гильз используют тонкорасточные станки. Растачивание ведется одним резцом, оснащенный пластинкой твердого сплава. Гильзы устанавливают в приспособлении по нижнему торцу бурта и по обработанным наружным пояскам, затем прижимают верхним торцом, чтобы избежать деформаций (рис. 7). Гильзы не зажимают в радиальных направлениях.

Получистовое зенкерование зеркала производится на специализированных четырехшпиндельных вертикально-расточных станках.

На горизонтальных тонкорасточных станках гильзы устанавливают так, чтобы растачивание начинать от нижнего конца ее по направлению к буртику. При этом наилучшим способом крепления для обеспечения соосности наружных и внутренних поверхностей является фиксирование гильзы только по верхнему пояску.

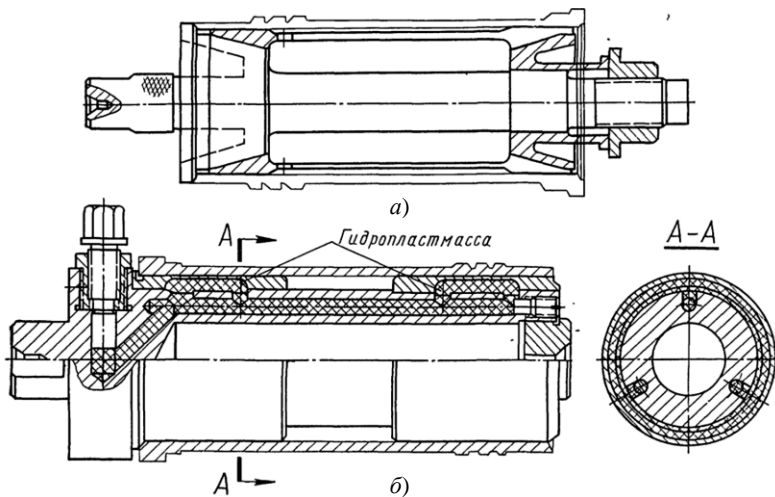


Рис. 6. Разжимные оправки для шлифования наружных поверхностей гильзы:

а – цанговая двусторонняя оправка; *б* – оправка с гидропластмассой

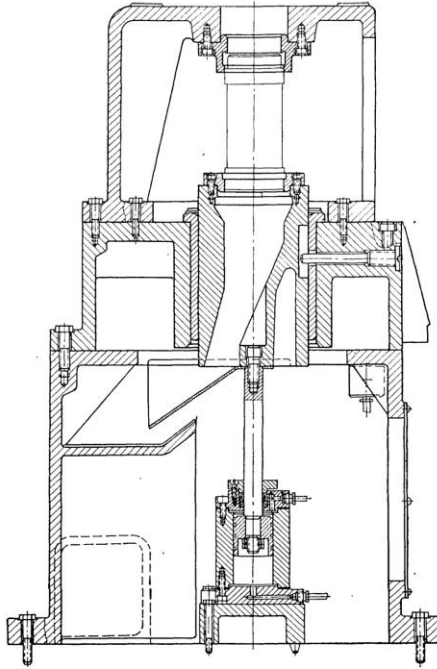


Рис. 7. Схема установки гильзы на четырехшпindelном вертикально-расточном станке

Для этой обработки применяют также токарные шести- и восьмишпindelные полуавтоматы с двойной индексацией, где все заготовки мокрых гильз устанавливают (первые две позиции) в трехкулачковых патронах (с высокими кулачками), захватывающих гильзу за оба пояска (примерно на $3/4$ высоты гильзы). На третьей и четвертой позициях предварительно растачивают зеркало на половину его длины и одновременно обтачивают наружную поверхность бурта. На пятой и шестой позициях растачивают зеркало на всю длину, одновременно подрезая торцы бурта. На седьмой и восьмой позициях зеркало развертывают. Окончательно зеркало обрабатывают двух-, трехкратным хонингованием на одношпindelных или многошпindelных вертикальных хонинговальных станках.

При хонинговании мокрые гильзы устанавливают в приспособлении, базируя их по верхнему и нижнему посадочным пояскам, и прижимают к торцу фланца в осевом направлении накладным кольцом или зажимают гидропластмассовым (рис. 8) болтом в радиальном направлении.

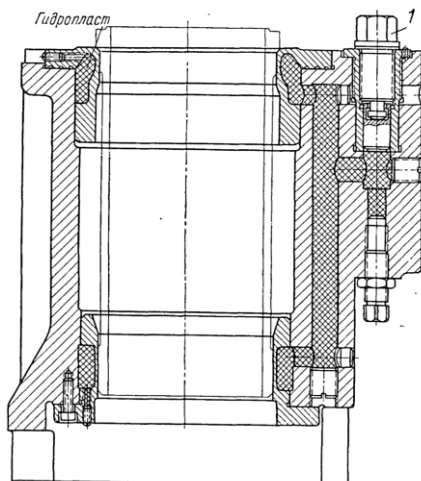


Рис. 8. Приспособление с гидропластмассой для хонингования

Предварительно зеркало хонингуют электрокорундовыми брусками зернистостью 150...200. Абразивные бруски разжимаются односторонними (рис. 9, а) или двусторонними (рис. 9, б) конусами.

Окончательно зеркало хонингуется брусками из карбида кремния. После окончательного хонингования чистота зеркала соответствует 9 – 11-му классам, при этом погрешность формы, т.е. эллипсность, конусность, бочкообразность и корсетность не превышают 0,02...0,03 мм.

Точность при хонинговании в значительной степени зависит от способа закрепления хонов и гильзы. Для установки хонов используют два или один шарнир, а гильзу жестко закрепляют.

Если для установки хонов применены два шарнира (рис. 9, в), то для обеспечения высокой точности формы обрабатываемого зеркала необходимо, чтобы оси отверстия гильзы и ось шпинделя станка совпадали. В этом случае гильзы устанавливают с помощью оправок с выдвигными пальцами, вводимыми в обрабатываемое отверстие.

Для создания заданных усилий прижима абразивных брусков хонов к обрабатываемым поверхностям используют гидравлические и пневматические устройства с предварительно сжатыми пружинами.

Величина хода, на которую пружина может переместить конус, разжимающий бруски, устанавливается предварительно в зависимости от величины снимаемого припуска.

Технологический процесс обработки заготовок гильз, не подвергающихся термической обработке, проще, чем закаливаемых, и их трудоемкость при одинаковых конструктивных исполнениях и близких программах выпуска на 50...65% меньше.

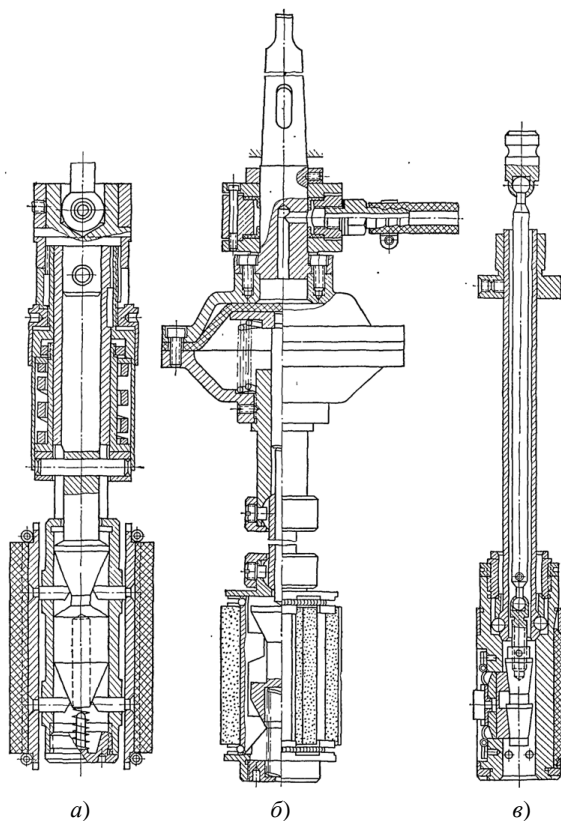


Рис. 9. Конструкции хонов

a – конусы направлены в одну сторону; *б* – конусы направлены в разные стороны; хоны приводятся во вращение пневматическим диафрагменным приводом; *в* – хон с двумя шарнирами, бруски разжимаются гидроприводом

Мокрые гильзы с диаметром зеркала 58 мм и длиной около 150 мм, изготавливаемые из специального легированного чугуна, отливают в виде блочной заготовки на четыре детали (рис. 10).

Обработка заготовок начинается с разрезки отливок на две половины на специальном распиловочном станке,

Разрезанную на две части заготовку устанавливают на специальном станке на две V-образные губки, на котором подрезают торец и снимают фаску специальной фрезой с двумя рядами твердосплавных резцов, затем на многолезцовых станках обрабатывается профиль гильзы.

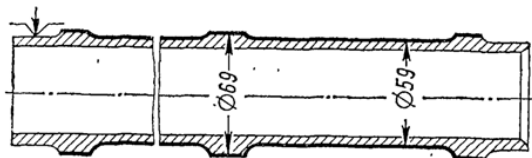
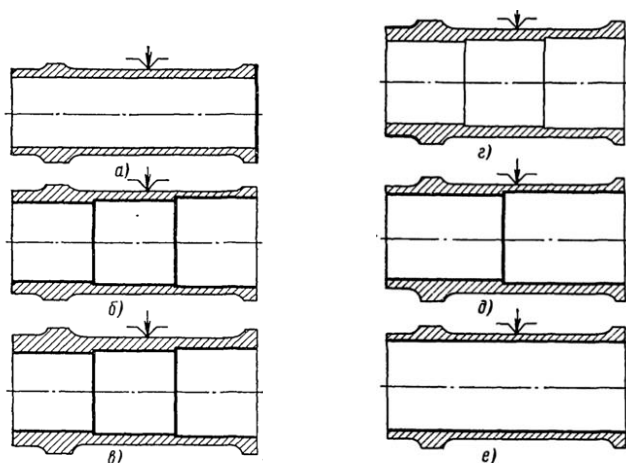


Рис. 10. Заготовка на четыре гильзы

Обработанная по контуру заготовка передается на распиловочный станок, где она разрезается на две гильзы.

Разрезанные заготовки поступают на специальный одиннадцатипозиционный двусторонний агрегатный станок (рис. 11), на котором последовательно подрезается торец, предварительно и окончательно растачивается отверстие, вращающейся резцовой головкой обтачивается юбка и производится полуступовое растачивание отверстия (на половину длины) и шестилезвийным инструментом – сквозное чистовое растачивание отверстия.

Зеркало гильзы тонко растачивается на трехшпиндельном горизонтальном алмазно-расточном станке. Устанавливаются гильзы наружной поверхностью юбки в приспособлении и обрабатываются двумя резцами (с пластинами из твердых сплавов), расположенными последовательно и под углом один к другому. Передним резцом растачивают зеркало предварительно, задним – окончательно с точностью $1 \pm 0,01$ мм.



**Рис. 11. Схема обработка заготовок
на многопозиционном агрегатном станке:**

a – подрезание одного торца; *б* – черновая расточка отверстия;
в – вторая расточка отверстия; *г* – обточка юбки; *д* – полуступовая расточка
отверстия; *е* – чистовая расточка отверстия

Далее зеркало гильзы хонингуется на двухшпиндельном вертикально-хонинговальном станке карборундовыми брусками с точностью 0,02 мм и чистотой поверхности по 10-му классу (шероховатость до 0,75 мкм).

Фирмой Хеллер (ФРГ) предложен следующий технологический маршрут обработки чугунных гильз со вставкой (подобных приведенной на рис. 1, з):

- 1) обтачивание поясков и подрезание торцов;
- 2) предварительное и затем получистовое растачивание отверстия резцовым блоком, состоящим из пяти резцов;
- 3) прорезание канавок, подрезание торцов и снятие фасок;
- 4) окончательное растачивание отверстия под посадку вставки с точностью 0,07 мм блоком, состоящим из трех резцов.

Эти четыре операции выполняются на двухшпиндельных токарных патронных станках со специальными наладками;

- 5) посадка вставки под прессом;
- 6) допрессовка вставки обкаткой по торцу на специальном станке с двумя роликами;
- 7) предварительное растачивание зеркала на проход на двухшпиндельном станке резцовым блоком, состоящим из трех резцов;
- 8) окончательное подрезание торца и снятие фаски на патронном токарном полуавтомате;
- 9) обтачивание базовых поясков с точностью 0,1 мм на специальном двухшпиндельном токарном станке;
- 10) предварительное и окончательное шлифование поясков с точностью 0,027 мм на двухкамневом круглошлифовальном станке;
- 11) окончательное растачивание зеркала с точностью 0,06 мм на двухшпиндельном расточном станке резцовым блоком, состоящим из трех резцов;
- 12) хонингование зеркала с точностью 0,06 мм на хонинговальном станке.

1.4. ОБРАБОТКА ГИЛЬЗ НА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Примером автоматизированного процесса обработки гильз может служить комплекс линий для обработки незакаливаемых мокрых гильз с одновременным образованием вставки, заливаемой высоколегированным чугуном с 16% никеля. Заготовки гильз из специального легированного чугуна отливают в оболочковых формах. Гильзы обрабатываются на трех автоматических линиях, предназначенных для черновой и чистовой обработки, а также для отделки и контроля.

Технологический маршрут обработки гильз на автоматических линиях приведен в табл. 1. Для черновой обработки предусмотрено

выполнение пяти операций: предварительная обработка отверстия, узкого и большого торца, выточка под канавку, наплавление выточки и удаление флюса.

1. Технологический маршрут обработки гильз на автоматических линиях

№ п/п	Операция	Оборудование	Технологические базы
<i>Линия черновой обработки</i>			
1	Черновое растачивание отверстия и подрезание узкого торца	Двенадцатишпиндельный токарный вертикальный автомат последовательного действия	Наружная необработанная поверхность и широкий торец
2	Черновое обтачивание и подрезание большого торца	То же	Расточенное отверстие и узкий торец
3	Растачивание выточки под наплавку	То же	Широкий торец, один из наружных поясков и бортик
4	Наплавка внутренней поверхности выточки легированным чугуном	Автоматическая машина для центробежной заливки	
5	Термическая обработка и снятие флюса	Печь для термической обработки и специальная установка	
<i>Линия чистой обработки</i>			
6	Получистовое растачивание отверстия, подрезание узкого торца и снятие фаски	Двенадцатишпиндельный токарный вертикальный автомат последовательного действия	Наружные пояски и широкий торец
7	Предварительное протачивание уплотнительных канавок и подрезание торца фланца	То же	Зеркало гильзы и нижний торец
8	Чистовое обтачивание наружных поясков под шлифование	То же	Зеркало гильзы и нижний торец
9	Контроль (гидроиспытание при давлении 3...4 атм)	Гидропресс	

Продолжение табл. 1

№ п/п	Операция	Оборудование	Технологические базы
10	Предварительное врезное шлифование поясков двух деталей одновременно	Бесцентрово-шлифовальный четырех-каменный автомат	
11	Получистовое растачивание отверстия и снятие внутренней фаски со стороны бурта	Двенадцатишпиндельный вертикальный токарный автомат последовательного действия	Наружные пояски и нижний торец
12	Окончательное подрезание торцов бурта, прорезание канавок и притупление острых кромок	Восьмишпиндельный вертикальный токарный автомат последовательного действия	Зеркало гильзы и нижний торец
13	Тонкое растачивание отверстия	Двенадцатишпиндельный токарный вертикальный автомат последовательного действия	Торец бурта и верхний базовый поясак
<i>Линия окончательной обработки, контроля и упаковки</i>			
14	Предварительное хонингование двух гильз одновременно	Шестишпиндельный хонинговальный автомат с двумя загрузочными позициями	Верхний поясак
15	Мойка	Агрегат для мойки	
16	Окончательное шлифование поясков	Специальный бесцентрово-шлифовальный четырех-каменный автомат	Башмаки по предварительно хонингованному отверстию зеркала
17	Окончательное хонингование зеркала двух гильз одновременно	Шестишпиндельный хонинговальный автомат с двумя загрузочными позициями	Торец бурта и верхний базовый поясак
18	Мойка	Агрегат для мойки	
19	Визуальный контроль	Контрольная установка	
20	Стабилизация температуры	Установка для стабилизации температуры	
21	Контроль и сортировка на группы	Контрольная установка	
22	Антикоррозионная обработка	Специальная установка	

При предварительной обработке отверстия (рис. 12, а) снимается литейная корка по отверстию, и подготавливаются технологические базы для следующих операций.

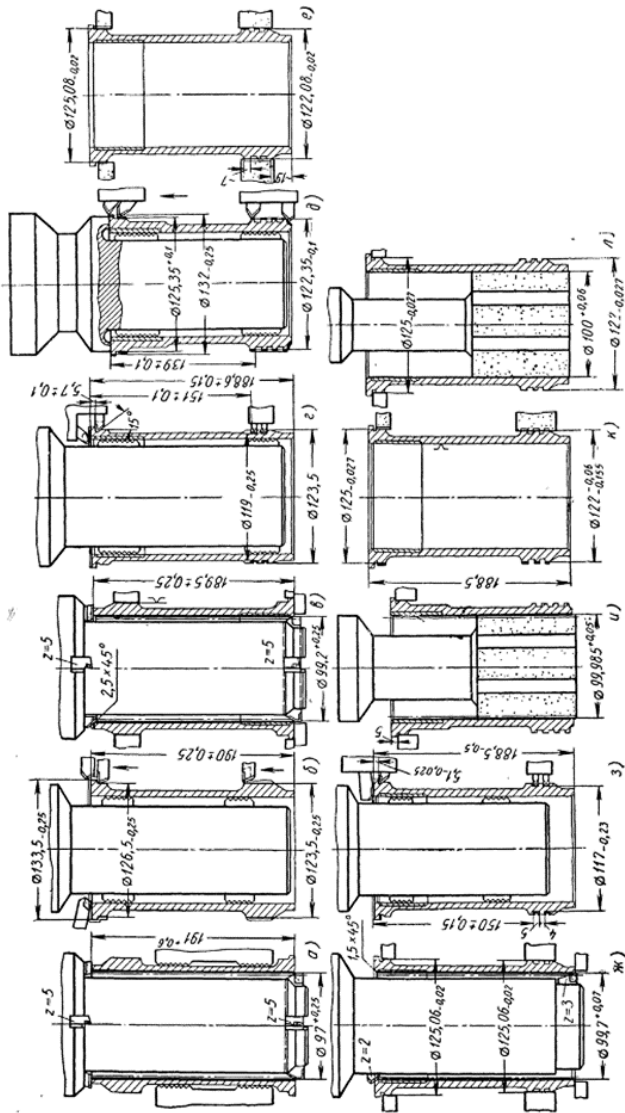


Рис. 12. Эскизы обработки гильзы на отдельных станках автоматической линии

На этой операции для получения наименьшей разностенности заготовка устанавливается в центрирующем приспособлении по наружной поверхности и поджимается к широкому торцу. Отверстие растачивается пятирезцовой расточной головкой, торцы подрезаются четырьмя резцами.

Пояски обтачиваются на второй операции (рис. 12, б) тремя проходными резцами; торец подрезается одним подрезным резцом.

На третьей операции растачивается выточка под канавку одним резцом, установленным в расточной оправке.

Все три токарные операции выполняются на трех двенадцатишпиндельных токарных вертикальных автоматах параллельно-последовательного действия. Станок состоит из двух основных частей: стола (в котором смонтированы шпиндели), синхронизаторов, зубчатых передач для привода шпинделей и других механизмов, и центральной колонны, на гранях которой установлены направляющие для суппортов или зажимных приспособлений. Стол и колонна вращаются вместе.

Станки обслуживаются встроенными автооператорами, которые захватывают необработанные заготовки с транспортера, загружают их в станки, а обработанные выгружают из станков на транспортер.

При черновом растачивании отверстия снимается припуск 0,5 мм на сторону. Растачивание ведется при скорости $v = 61$ м/мин и $S = 0,6$ мм/об. Отверстие растачивается с точностью 0,25 мм.

Обтачивание поясков ведется при $v = 42,5 \dots 60,5$ м/мин, при этом продольная подача $S_{\text{прод}} = 0,5$ мм/об и поперечная подача $S_{\text{поп}} = 0,28$ мм/об. Пояски обтачиваются с точностью 0,25 мм. Выточка под канавку растачивается с точностью 0,5 мм при $v = 62,5$ м/мин.

После растачивания выточки под наплавку заготовка поступает на специальный автоматический агрегат для центробежной заливки внутренней поверхности выточки, т.е. для ее наплавки, легированным чугуном с присадкой никеля. Агрегат работает по следующему циклу:

- 1) зажим заготовки;
- 2) нагрев до 900 °С;
- 3) расплавление бруска легированного чугуна;
- 4) вращение заготовки ($n = 800$ об/мин.);
- 5) обсыпание флюсом поверхности под наплавку;
- 6) заливка выточки расплавленным легированным чугуном;
- 7) съем и охлаждение заготовки.

После охлаждения заготовки флюс снимается на специальном агрегате.

После зачистки флюса заготовки поступают на термическую обработку для снятия внутренних напряжений. Режим термической обработки следующий:

- нагревание заготовки до 500...550 °С в течение 2 ч;
- выдерживание в течение 2 ч;
- охлаждение в печи до 200 °С в течение 4 ч;
- охлаждение на воздухе.

На автоматической линии чистовая обработка детали выполняется за восемь операций.

На первой позиции (операция 6) зеркало гильзы растачивается пятирезцовой расточной головкой, подрезается торец и одновременно снимается фаска резцами, установленными в двухрезцовой головке (рис. 12, в).

На второй позиции (операция 7) предварительно прорезаются канавки при $v = 47...63$ м/мин, и $S = 0,16$ мм/об и подрезается торец буртика (рис. 12, з).

На следующей позиции (операция 8) начисто обтачиваются пояски при $v = 102...109$ м/мин и $S = 0,12$ мм/об (рис. 12, д). Эти три операции выполняются на двенадцатишпиндельных токарных вертикальных автоматах, аналогичных описанным выше.

Обработанные заготовки проверяются на герметичность на гидрпрессе под давлением 3...4 атм.

После контроля для ликвидации нецилиндричности базовых поясков и получения точной базы для последующей обработки зеркала и торцов бурта пояски предварительно шлифуют на специальном бесцентрово-шлифовальном автомате (операция 10) (рис. 12, е).

На этом автомате одновременно шлифуются две заготовки методом врезания. При шлифовании снимается припуск, равный 0,14 мм на сторону. Пояски шлифуются с точностью 0,02 мм по диаметру. Шлифование ведется при $v = 47$ м/мин, и $S = 0,008$ мм/об (0,96 мм/мин). Заготовки в зону шлифования подаются шаговым транспортером, имеющим горизонтальное возвратно-поступательное перемещение.

Для достижения требуемой параллельности между отверстием и базовыми поясками и получения необходимой точности и чистоты отверстия на двенадцатишпиндельном токарном вертикальном автомате (операция 11) производится полустовое растачивание зеркала и одновременно снимается внутренняя фаска со стороны бурта (рис. 12, ж). При полустовом растачивании трехрезцовой головкой снимается припуск, равный 0,25 мм на сторону ($v = 99,7$ м/мин, и $S = 0,72$ мм/об); точность растачивания зеркала 0,07 мм.

На следующей операции (операция 12) окончательно подрезаются торцы бурта, прорезаются канавки и притупляются острые кромки (рис. 12, з). Эту операцию выполняют на восьмишпиндельном токарном вертикальном автомате, аналогичном двенадцатишпиндельному токарному автомату. При окончательном прорезании канавок снимается припуск, равный 1 мм на сторону при $v = 104$ м/мин, и $S = 0,15$ мм/об.

Канавки по диаметру прорезаются с точностью 0,23 мм. При подрезании торцов бурта снимается припуск, равный 1 мм, и толщина бурта выдерживается с точностью до 0,025 мм.

Чтобы получить окончательную геометрическую форму зеркала гильзы и подготовить базы для дальнейших операций, предусмотрено тонкое растачивание зеркала (операция 13). Растачивание осуществляется одним резцом при $v = 188,5$ м/мин, и $S = 0,124$ мм/об. При этом снимается припуск, равный 0,1 мм на сторону, с точностью 0,03 мм. Эта операция выполняется на двенадцатишпиндельном токарном вертикальном автомате. Деталь устанавливают в приспособлении, зажимают по торцам бурта и центрируют по верхнему базовому пояску. Такая схема крепления должна обеспечить требующуюся перпендикулярность торца бурта к оси отверстия и исключить влияние зажима на возникновение деформаций в гильзе при ее обработке.

На автоматической линии окончательная обработка заготовки выполняется за девять операций (см. табл. 1), из которых три выполняются на металлорежущих станках.

На первой позиции линии предварительно хонингуется зеркало (операция 14) (рис. 12, и). При этом исправляются погрешности размеров геометрической формы после тонкого растачивания, что обеспечивает получение заданной геометрической формы зеркала и подготавливается базовая поверхность для окончательного шлифования посадочных поясков. Хоннигование ведется на шестишпиндельном вертикальном хонинговальном автомате с двумя загрузочными позициями с точностью 0,05 мм по диаметру при $v = 18$ м/мин и $S = 47$ м/мин; при этом снимается припуск, равный 0,017 мм на сторону.

Для очистки зеркала гильзы от шлама и керосина после хонингования детали промывают горячим раствором триэаноламина в специальной моечной машине.

На третьей позиции линии за 16 переходов окончательно шлифуются пояски гильзы на бесцентрово-шлифовальном четырехкамневом автомате (рис. 12, к). При окончательном шлифовании поясков достигается необходимая точность, чистота и параллельность поясков между собой и по отношению к оси отверстия. Пояски шлифуют методом врезания, причем гильза свободно висит на двух парах опор (башмаках), которые закреплены на неподвижной жесткой консоли под углом около 100° одна относительно другой. Напротив одного из башмаков гильза соприкасается со шлифовальным кругом. Под углом 90° к этой точке гильза контактирует с подпружиненными прижимными роликами, которые выполняют ту же функцию, что и ведущий круг при бесцентровом наружном шлифовании, т.е. они подтормаживают гильзу, увлекаемую шлифовальным кругом. Кроме того, вследствие перекоса осей они создают осевую силу, прижимающую гильзу к торцевой базе.

Станок имеет прибор для активного контроля и механизм для автоматической правки шлифовального круга.

На 17-й операции окончательно хонингуется зеркало (рис. 12, л).

Заготовки по автоматической линии транспортируются непрерывно движущимся пластинчатым транспортом, состоящим из пластин, соединенных втулочно-роликовой цепью.

На транспортере заготовки устанавливаются вертикально буртиком вниз.

Загрузка станков заготовками и выгрузка обработанных гильз осуществляется автооператорами, которые имеют две механические руки. Первая рука подает и загружает заготовки на станок. Одновременно при повороте первой руки, перегружающей заготовку с транспортера в рабочую зону станка, вторая механическая рука перегружает обработанную деталь из зоны станка на транспортер.

На рисунке 13 приведена схема работы перегружателя бесцентрово-шлифовального станка, на котором предварительно шлифуются пояски. Заготовка транспортером направляется к загрузчикам и переносится ими на транспортирующую гребенку станка. Два захвата берут заготовку с ленты транспортера и поворачивают ее примерно на угол 20° .

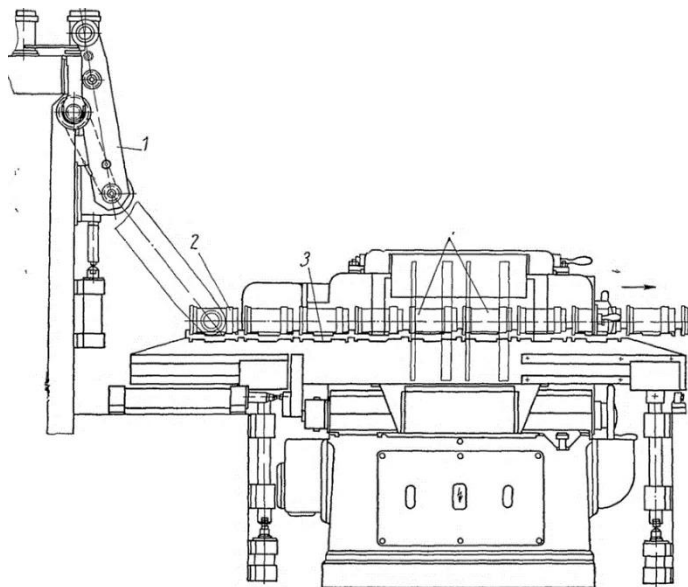


Рис. 13. Автоперегрузчик гильз и автооператор бесцентрово-шлифовального станка:

1 – перекладчик; 2 – позиция загрузки; 3 – загружающий транспортер;
4 – гильзы в зоне обработки

1.5. КОНТРОЛЬ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

Обработанная гильза подвергается визуальному контролю (проверяется качество обработки и отсутствие раковин), контролю основных параметров и сортировке на группы.

Кроме того, гильзы контролируются в процессе обработки наладчиками и станочниками на каждом станке. Годные гильзы клеймятся химическим клеймом с указанием номера группы.

Контролю подвергаются все ответственные поверхности гильзы. Проверяются наружный диаметр, диаметры поясков и буртов, их длины и правильность расположения их по длине. Особенно тщательно проверяется диаметр отверстия, его эллиптичность и конусность, огранка и чистота поверхности.

Для контроля диаметров посадочных поясков и зеркала используют приборы типа пневматических многомерных микрометров с электроконтактными датчиками и др. При массовом производстве используют автоматические контрольные агрегаты и контрольно-сортировочные автоматы.

Для измерения диаметра зеркала в трех сечениях служит специальное контрольное устройство. Гильзу устанавливают на оправку, в которой размещены шесть сопел. К каждой паре сопел подводится воздух. На трехмерном пневматическом приборе установлены три трубки, в которых поплавки под действием воздуха занимают положение, определяющее размер диаметра зеркала гильзы. Положение поплавков устанавливается наладчиком-контролером. Контролер в процессе измерения следит за поплавками и по их положению определяет правильность изготовления диаметра отверстия гильзы. Вращая гильзу, можно определить величину эллипсности. С помощью дополнительных сопел на этом приборе можно измерить в каждом сечении зеркала не только диаметр, но и овальность. Для этого трехмерный пневматический прибор надо заменить шестимерным.

Для контроля диаметра зеркала в четырех сечениях, диаметра поясков и юбки в пяти сечениях применяется комплексный прибор (рис. 14). Этим прибором при вращении гильзы можно определить овальность, конусность, бочкообразность и корсетность зеркала. Измеряемая гильза насаживается на оправку 1, в которой имеются сопла 2. По трубкам 3 и 4 к соплам подводится воздух. Проверяемые размеры определяют по положению поплавков в стеклянных трубках 5. Прибор заменяет труд трех-четырёх контролеров.

Для проверки разностенности гильза должна быть измерена в нескольких сечениях. Для этого используют стационарные приспособления, обеспечивающие возможность непрерывного вращения гильзы при измерении (рис. 15).

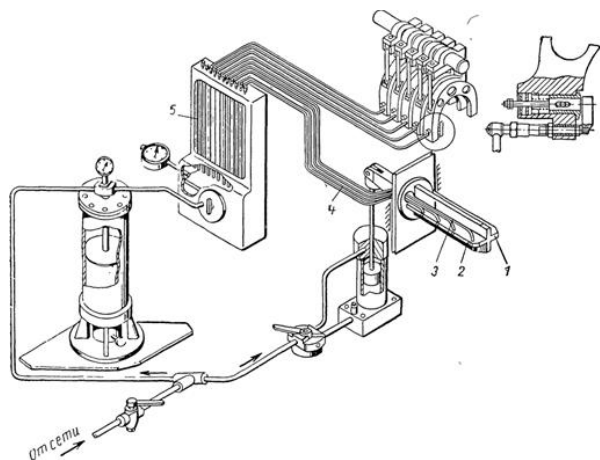


Рис. 14. Измерительный прибор для определения диаметра зеркала гильз

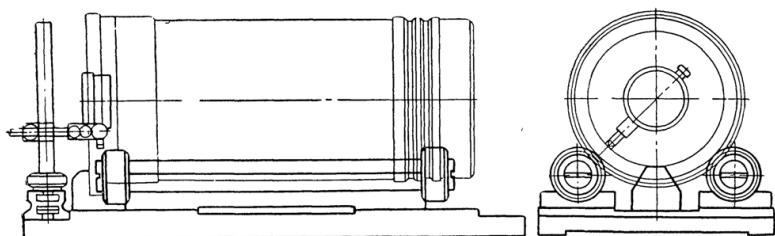


Рис. 15. Приспособление для определения разностенности гильз

Индикатор располагается внутри гильзы. Для измерения разностенности гильзы с другого конца индикатор со штативом переставляют на другую сторону плиты приспособления.

На рисунке 16 показано приспособление для измерения concentричности трех поясков гильзы относительно наружной ее поверхности. Гильзу кладут на ролики 3, рукояткой 1 отводится вверх планка 2 с вмонтированными в нее индикаторами.

Термической обработке подвергается поверхность зеркала гильзы. Наиболее рациональным процессом термической обработки зеркала гильзы четырехтактных двигателей, не имеющих продувочных окон, является поверхностное закаливание токами высокой частоты (т. в. ч.) с последующим низким отпуском в индукционных печах промышленной частоты. Для гильз двухтактных двигателей, имеющих продувочные окна, поверхностное закаливание затруднено вследствие оплавления кромок окон.

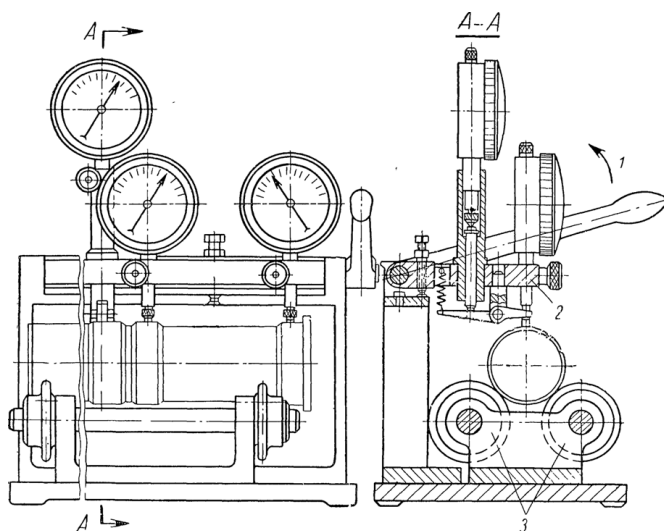


Рис. 16. Приспособление для контроля неконцентричности трех поясков гильзы относительно ее наружной поверхности

1.6. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГИЛЬЗ

Для ограничения деформаций (эллиптичность должна быть не более $0,1 \dots 0,15$ мм и конусность $0,1 \dots 0,2$ мм по диаметру) необходимо обеспечить равномерный нагрев и скорость охлаждения гильз по высоте и окружности при их закаливании, а также оптимальную скорость охлаждения, зависящую от материала и исходной микроструктуры гильз.

Исследованиями установлено, что на величину деформации после закаливании влияют не только колебания химического состава чугуна, но и колебания величины зерен графита исходной микроструктуры гильзы. В связи с этим качество термической обработки гильз находится в прямой зависимости от технологии отливки гильз.

Износостойкость поверхности гильз повышается значительно при увеличении твердости не менее чем до RC 45 при глубине закаливаемого слоя до $1 \dots 1,5$ мм.

При закалке т. в. ч. используют специальные автоматы, оснащенные приспособлениями для автоматической загрузки и разгрузки.

После закалки гильзы отпускают в шахтной печи или т. в. ч. При отпуске гильз в шахтной печи в нее загружают $30 \dots 40$ гильз и выдерживают $1,5 \dots 2$ ч. при температуре $150 \dots 200$ °С и затем их охлаждают на воздухе.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

2.1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Распределительный вал двигателя внутреннего сгорания, являющийся основной деталью механизма газораспределения, приводит в движение толкатели клапанов, масляный и топливный насосы и распределитель зажигания.

Конструкции распределительных валов характерны наличием кулачков сложного профиля, зубчатого венца, эксцентрика, опорных шеек малого диаметра и относительно большой длиной вала.

Распределительные валы, применяемые в разных двигателях, могут отличаться один от другого длиной и числом опорных шеек, количеством и профилем кулачков и их расположением (рис. 17).

В большинстве случаев профиль кулачков очерчивается дугами кругов нескольких радиусов или дугами кругов и прямыми. К точности изготовления отдельных элементов распределительных валов предъявляются высокие требования:

а) опорные шейки валов должны быть обработаны по 2-му классу точности и по 8 и 9-му классам чистоты; биение их размеров относительно крайней шейки не должно превышать 0,015...0,02 мм. Упорный торец первой шейки должен иметь 7-й класс чистоты, допускаемая неперпендикулярность его по отношению к шейке не должна превышать 0,02...0,03 мм. Овальность и конусность шеек обычно необходимо выдержать в пределах 0,01 мм;

б) рабочие поверхности кулачков должны быть обработаны по 8 и 9-му классам чистоты. Оси симметрии кулачков должны быть выдержаны с точностью $\pm 30' \dots 1^\circ 30'$ по отношению к шпоночной канавке ведомой распределительной шестерни. Отклонение оси симметрии среднего кулачка относительно оси шпоночной канавки не должно превышать $\pm 0^\circ 30'$. Отклонение оси всех кулачков относительно оси среднего впускного кулачка не должно быть больше, чем на $\pm 0^\circ 20'$. Отклонение от теоретического подъема плоского толкателя при проверке профиля кулачка в отдельных точках должно быть не более 0,1...0,2 мм и от номинального взаимного положения фаз кулачка не более в $\pm 1^\circ \dots \pm 2^\circ$;

в) смещение оси шпоночной канавки относительно диаметральной плоскости не должно превышать 0,02...0,03 мм;

г) зубья зубчатого венца колеса привода масляного насоса и распределителя должны иметь 7-й класс чистоты.

В зависимости от длины распределительные валы делятся на три группы: длиной до 500 мм; 500...1000 и 1000...1500 мм.

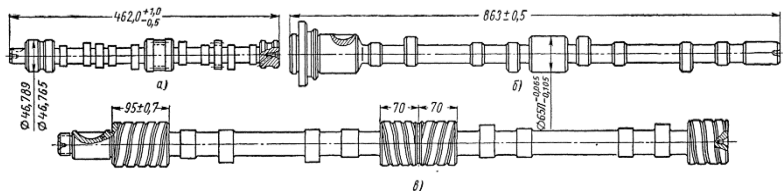


Рис. 17. Конструкции распределительных валов:

a – малолитражного двигателя; *б* – тракторного двигателя средней мощности; *в* – тяжелого тракторного двигателя

2.2. МАТЕРИАЛ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

Распределительные валы автотракторных двигателей изготавливают из углеродистых и легированных сталей, хромистых, хромо-молибденовых сталей или чугунов с шаровидной формой графита.

Поковки стальных распределительных валов подвергаются термической обработке (отжигу и нормализации), имеющей целью снять внутренние напряжения и нормализовать твердость заготовки для облегчения обработки их на металлорежущих станках.

После предварительной обработки на металлорежущих станках опорные шейки, кулачки, эксцентрики и зубчатый венец стальных валов подвергаются вторичной термической обработке (закаливанию и отпуску).

После закаливания и отпуска поверхностная твердость опорных шеек и кулачков у валов, изготовленных из сталей марок 45, 15Х и 12ХНЗА, должна быть в пределах HRC 52-62.

Глубина закаленного слоя должна быть не менее 2...5 мм; на вершине кулачков допускается глубина закаленного слоя до 10 мм.

В настоящее время стали широко применять распределительные валы, изготовленные из легированных чугунов и из чугунов с шаровидной формой графита. Примерный состав чугуна следующий: 3,0...3,5% С; 0,5...0,6% Мо; 1,8...2,6% Si; 0,6...0,8% Mn; 0,8...1,1% Cr; 0,4...0,7% Ni; 0,08...0,12% Ti и не более 0,12...0,14% P. Эксплуатационные испытания показали, что литые чугунные распределительные валы надежны в работе и имеют высокие эксплуатационные качества.

Так, например, распределительные валы двигателей автомобилей фирмы Мерседес отливают из чугуна состава: 3,8% С; 1,2% Mn; 1,8% Si; 0,26% P; 0,15% Ti; распределительные валы двигателей автомобилей фирмы Фольксваген – из чугуна состава: 3,3% С; 0,7% Mn; 2% Si; 0,6% P; 0,05% Ti; автотракторные дизели фирмы Перкинс – из чугуна состава: 3,7% С; 0,6% Mn, 2% Si, 0,13% P, 0,75% Cr, 0,08% Ti. Поверхности кулачков этих валов отливают в отливке или подвергают индукционной закалке.

Серые чугуны, применяемые для распределительных валов, отличаются высокими антифрикционными свойствами, и поэтому нет необходимости повышать твердость опорных шеек, обычно работающих в баббитовых подшипниковых втулках.

Поверхность шеек у таких валов имеет ту же твердость, что и весь материал вала. Закаливанию подвергаются только зубчатый венец, так как при твердости около HB 300 износостойчивость его значительно ниже, чем других поверхностей. Закаливание чаще всего производят газопламенным способом до твердости HRC 45-48. У заготовок, изготовленных из серого чугуна, при необходимости можно получить местную высокую твердость на наиболее ответственной части вала (поверхностях кулачков) путем применения местных кокилей (при отливке в земляные формы). В этих случаях отпадает необходимость в последующем закаливании кулачков.

У распределительных валов, изготовленных из высокопрочных магниевых чугунов, поверхности кулачков и эксцентрика между предварительной и окончательной механическими обработками подвергаются закаливанию т. в. ч. Твердость после колеблется в пределах HRC 52...58.

Масса (вес) литых распределительных валов на 10...15% меньше массы кованных валов, припуски на механическую обработку также значительно меньше.

2.3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

К заготовкам распределительных валов предъявляют высокие требования. Штампованные заготовки следует качественно проковать, особенно по опорным шейкам и кулачкам.

Литые заготовки должны иметь плотную отливку без раковин и пористости наружных поверхностей. Отливку необходимо тщательно очистить от формовочной смеси, все заливы и заусенцы по линии разъема зачистить заподлицо с поверхностью заготовки.

Технические условия на штампованные и литые заготовки типовых распределительных валов длиной 650...950 мм и диаметром опорных шеек 30...50 мм приведены в табл. 2.

Расход металла на изготовление распределительных валов и трудоемкость механической обработки их в значительной степени зависят от способа изготовления заготовок.

Заготовки стальных распределительных валов изготавливают штампованием на прессах или молотах.

Изготовление заготовок на ковочных прессах повышает производительность в 1,5–2 раза, уменьшает штамповочные уклоны до 2...3°, припуски на механическую обработку на 25...45% и расход металла на 10...15% по сравнению с изготовлением их на молотах.

2. Штампованные и литые заготовки

Наименование	Заготовка	
	штампованная	литая
Кривизна вала, мм	1,5...2,5	0,6...1,0
Эллиптичность опорных шеек, мм	1,0...1,5	0,4...0,6
Смещение кулачков относительно первого выпускного кулачка, мм	2...3	1,0...1,5
Допускаемая глубина внешних дефектов, мм	1,0...1,5	0,8...1,0
Припуски на обработку, мм, по:		
диаметру опорных шеек:	3,5...5,0	2,0...2,5
диаметру кулачков	3...5,0	1,0...1,5
торцам кулачков	3...4	1,0...1,5
наружному диаметру зубчатого венца	4...5	1,5...2,0
диаметру эксцентрика	3...4	1,5...2,0
Допускаемые размеры заусенцев, мм, по:		
кулачкам	1,0...2,0	
остальным поверхностям	1,5...3,0	
Уклоны, °	7	2
Точность обработки (класс)	8...9	5

При штамповании заготовок исходным материалом служит круглый катаный пруток или периодический фасонный прокат.

При использовании фасонного проката масса исходной заготовки уменьшается на 10...12%.

Наибольшее распространение получил следующий процесс штампования заготовок.

После разрезания прутков заготовки штампуют в штампах, имеющих два или три ручья.

В первом ручье производится подкатка; во втором и третьем – предварительное и окончательное формообразование (рис. 18). Заготовки штампуют по 9-му классу точности. Заготовки валов, изготовленные из легированных сталей, нормализуют (нагревают до 850...870 °С с выдержкой в течение 60...102 мин). После нагрева заготовки очищают в дробеметной установке и правят в холодном состоянии на прессе.

Технологический маршрут изготовления заготовок распределительных валов, выполненных из стали 45 с 16 кулачками, длиной 602 мм и диаметром опорных шеек 50 мм с зубчатым венцом и эксцентриком приведен в табл. 3.

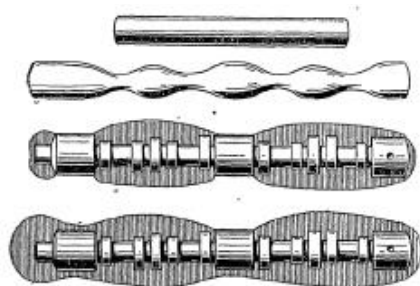


Рис. 18. Формообразование заготовки распределительного вала

3. Технологический маршрут изготовления заготовок распределительных валов

№ операции	Операция	Оборудование	Производительность в шт./ч
1	Резка заготовки	Ножницы	56...60
2	Контроль	—	—
3	Нагревание заготовки	Камерная печь	—
4	Штампование заготовки	Пресс	30...40
5	Обрезание заусенцев	Обрезной пресс	20...30
6	Выборочный контроль углового смещения кулачков	Специальное приспособление	—
7	Зачистка заусенцев	Наждачное точило	10...20
8	Термическая обработка	Методическая печь	—
9	Выборочный контроль по твердости <i>HV</i> 230...300	Пресс Бринеля	—
10	Очистка от окалины	Дробеструйная установка	10...20
11	Правка в холодном состоянии	Пресс	—
12	Окончательный контроль	Специальные приспособления	—

На участке специализированного завода полностью автоматизирован процесс штампования распределительных валов длиной 620 мм с 16 кулачками. Производительность линии составляет 300 распределительных валов в час.

Заготовки литых валов получают в основном отливкой в земляные и оболочковые формы. Заготовки из серого чугуна часто отливают в смешанных формах. В земляную форму устанавливают местные металлические кокили, образующие формы кулачков и эксцентриков. При заливке чугуна в кокиль отливка резко охлаждается, так как быстрее отводит тепло, чем окружающая земляная форма. На поверхности кулачков и эксцентриков образуется твердая корка отбеленного чугуна. У вершин кулачков толщина корки доходит до 5...6 мм и уменьшается к цилиндрической более массивной части, где она достигает 1,0...2,0 мм. Благодаря образованию отбеленного поверхностного слоя отпадает необходимость в последующей закалке поверхности кулачков и эксцентриков.

Заготовки из модифицированных чугунов отливают главным образом в оболочковые формы.

Оболочковые формы для отливки распределительных валов во многих случаях изготавливают из смеси кварцевого песка, пудвербакелита, фурфурола и силиконовой жидкости. Из смолоспесчаной смеси после ее подготовки (сушка отдельных компонентов, просеивание и смешивание песка с пудвербакелитом) в формовочных машинах получают формы. Оболочковые формы при массовом производстве обычно изготавливают на двух- или четырехпозиционных машинах производительностью 40...80 форм в час.

Заготовки очищают в дробеметных камерах и после контроля подвергают термической обработке, заключающейся в нагреве их до 550 °С в течение 2...3 ч, охлаждению в печи до 200 °С и правке в горячем состоянии.

На моторном заводе фирмы Форд (США) работает автоматическая линия для отливки распределительных валов в оболочковые формы. Оболочковую форму заливают при вертикальном положении плоскости разъема формы (рис. 19), при этом форма поддерживается опорами 1 и 2.

Опока засыпается дробью. Для повышения поверхностной твердости кулачков и опорных шеек к ним подводят охлаждающий воздух по трубопроводам 3 и 4 и соплам 5. Воздух подают по трубопроводам через 75 с после заливки металла в форму. Автоматическая линия для отливки и очистки заготовок распределительных валов длиной около 600 мм создана на заводе фирмы Джeneral Моторе (США).

Формы заливают в горизонтальном положении из подвесных ковшей. После остывания заготовки выбивают, охлаждают на специальном конвейере и очищают в дробеструйной камере.

У очищенных заготовок обрубает литниковые прилибы, затем заготовки подвергают термической обработке и правке.

Производительность такой линии 600 распределительных валов в час.

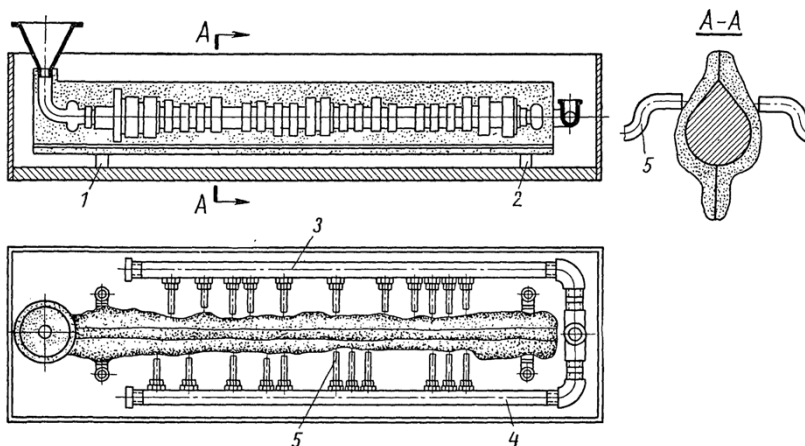


Рис. 19. Оболочковая форма для отливки распределительного вала

2.4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК

Конструкция распределительных валов и высокие требования к точности и чистоте обработки рабочих поверхностей оказывают значительное влияние на механическую обработку заготовок. При недостаточной жесткости заготовок распределительных валов под влиянием сил резания при обработке на металлорежущих станках они деформируются.

Такие деформации могут вызвать, например, чрезмерное биение опорных шеек валов относительно кулачков или закручивание вала, ведущее к погрешностям углового расположения кулачков.

Указанные явления учитываются при проектировании технологического процесса.

Основными стадиями при обработке заготовок распределительных валов являются:

- 1) обработка торцов и центровых отверстий;
- 2) обработка опорных шеек и фланца;
- 3) обработка отверстий во фланце и шпоночной канавке;
- 4) обработка кулачков;
- 5) отделка шеек и кулачков;
- 6) контроль.

Обработка торцов и центровых отверстий. Общая длина вала обычно должна быть выдержана с точностью $\pm 0,2$ мм, а расстояние от переднего торца до торца центральной шейки с точностью $\pm 0,15$ мм. Важно также обеспечить правильное расположение оси центровых отверстий (вспомогательных баз).

Торцы и центровые отверстия можно обрабатывать за одну операцию на фрезерно-центровальных станках или за две операции на фрезерных и затем на центровальных станках.

При массовом производстве обычно применяют барабанно-фрезерные четырехшпиндельные станки, на которых одновременно фрезеруют торцы и сверлят центровые отверстия с перекрытием вспомогательного времени.

В призмы приспособления этих станков заготовку устанавливают цилиндрическими поверхностями крайних опорных шеек. В осевом направлении положение заготовки регулируют упором ее в задний торец фланца или в одну из опорных шеек.

Обработка опорных шеек и фланца. Во многих случаях недостаточная жесткость конструкции распределительного вала (имеющего большую длину при малых диаметрах шеек) и неравномерность припусков затрудняют выдерживание технических условий и усложняют процесс обработки. Деформации, возникающие в процессе обработки заготовок при недостаточной жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь», требуют увеличения количества операций при обработке опорных шеек и фланца и количества правок.

Уменьшение деформаций заготовок в процессе механической обработки уменьшает трудоемкость и повышает точность обработки детали.

Некоторые деформации, например, возникающие при чистовом шлифовании опорных шеек, могут вызывать такие перекосы рабочих поверхностей кулачков, которые приводят к окончательному забракованию детали.

У стальных распределительных валов опорные шейки и фланец до термической обработки обрабатывают на токарных и шлифовальных станках, после термической обработки – на шлифовальных станках и станках для микрофиниша. Между токарными и шлифовальными операциями заготовку вала подвергают одной или нескольким правкам, а после термической обработки иногда ее и перецентрируют.

Трудоемкость токарной обработки в значительной степени зависит от вида заготовки и размеров припусков. Трудоемкость токарной обработки заготовок, отлитых в оболочковые формы, на 50...80% ниже трудоемкости обработки штампованных заготовок. Опорные шейки, фланец и венец (а также промежуточные нерабочие шейки у штампованных распределительных валов) обрабатывают на токарных многолезцовых или токарно-копировальных полуавтоматах. На токарно-копировальных полуавтоматах часто устанавливают несколько копировальных суппортов для одновременной обработки нескольких поверхностей вала.

При массовом производстве для токарной обработки шеек и фланца используют специализированные многолезцовые или копи-ровальные полуавтоматы с центральным приводом. Применение таких станков позволяет одновременно обрабатывать цилиндрические поверхности на обоих концах вала, что уменьшает опасность закручивания распределительного вала. Для сообщения валу вращения от привода используются нерабочие (промежуточные) средние шейки.

Чтобы уменьшить деформацию длинных нежестких валов, сначала обтачивают шейки, а затем шлифуют одну или две опорные шейки в средней части вала под лунеты. На последующих операциях при токарной и шлифовальной обработке остальных шеек фланца, венца и торцов эти шейки используют как промежуточные опоры. На токарных многолезцовых станках эти поверхности часто обрабатывают двукратно. При обработке точных литых заготовок на жестких токарно-копировальных станках обычно добиваются достаточной под шлифовку точности (по 4-му классу) после однократной обработки цилиндрических поверхностей вала.

На заводах с большим выпуском цилиндрические поверхности распределительных валов обрабатывают на автоматических линиях. Так, для обтачивания рабочих шеек, фланца и торцов штампованных распределительных валов тракторных дизелей создана автоматическая линия, объединяющая два токарных многолезцовых полуавтомата модели 1А892.

На первом станке обрабатываются цилиндрические поверхности и торцы одной половины заготовки, на втором станке – второй половины. Заготовка устанавливается в центрах станка и поджимается пинолью задней бабки к опорной поверхности патрона, обработанной на предшествующей операции поверхностью торца. Во избежание скручивания заготовки вращение на обоих станках сообщается валу выносными поводковыми патронами, захватывающими его за среднюю шейку. Опорные крайние шейки, фланец и их торцы обрабатываются резцами с радиальной подачей двух встречно движущихся суппортов.

После обработки на первом станке заготовка поворачивается на 180° специальным перегрузателем.

Опорные шейки стальных распределительных валов шлифуют на одно- или многокаменных круглошлифовальных станках предварительно до термической обработки и окончательно – после нее.

Трудоемкость шлифования шеек в значительной степени зависит от припусков на обработку и метода шлифования.

На однокаменных круглошлифовальных станках шейки распределительных валов шлифуют последовательно. Станки в большинстве случаев работают по автоматическому циклу и имеют переменную

радиальную подачу, уменьшающуюся в конце цикла шлифования. Размер обрабатываемой шейки в процессе шлифования контролируется пневматическим или электроконтактным измерительным устройством.

При крупносерийном и массовом производстве широко применяются многокаменные шлифовальные полуавтоматы, работающие методом врезания. Эти станки оснащены гидрофицированными люнетами и автоматически работающими устройствами для правки шлифовальных кругов, которая производится после шлифования заранее установленного числа шеек.

Порядок и число одновременно шлифуемых шеек зависят главным образом, от жесткости распределительного вала и их количества. Многокаменные круглошлифовальные полуавтоматы имеют большую производительность и высокую стоимость, поэтому их применение рентабельно только при больших программах выпуска. Переднюю шейку и привалочный торец шестерни распределения, используемый в качестве измерительной базы для отсчета линейных размеров распределительных валов, шлифуют одновременно специально запрограммированным кругом на станках с угловым расположением шлифовальной бабки.

При массовом производстве распределительные валы на многих заводах шлифуют на автоматических линиях до термической обработки и после нее. На одной из автоматических линий до термической обработки установлены 8 однокаменных круглошлифовальных станков; каждый станок шлифует одну шейку. Распределительные валы передаются со станка на станок захватами.

Создана также автоматическая линия, на которой после термической обработки шейки распределительных валов шлифуются дважды на десяти однокаменных круглошлифовальных станках и отделываются на двух станках для суперфиниша. Окончательно шейки распределительных валов полируются на специализированных станках полотняной или бумажной лентой, затем подвергаются микрофинишрованию или суперфинишрованию. При полировании шейки поливают струей керосина, который смывает шлам и абразивные зерна, осыпающиеся с ленты в процессе полирования.

На полировальных станках заготовка устанавливается в центрах. В качестве поводка используется палец, который входит в отверстие во фланце. Станки, как правило, работают по автоматическому циклу и все шейки полируются одновременно. Продолжительность полирования абразивной лентой пяти шеек диаметром 40...52 мм, длиной 22...26 мм составляет 1,5...2,5 мин.

При однократном полировании поверхности обычно обрабатывают по 8 и 9-му классам чистоты и при двукратной отделке по 10-му классу. Таким способом можно отделать и выправить криволинейные и бочкообразные участки шеек.

Для суперфиниширования используют абразивные бруски из белого электрокорунда, давление которых на заготовку не превышает 490 КПа.

При суперфинише может быть достигнута высокая чистота обработки поверхности (по 10 – 13-му классам), однако для эффективного использования этого метода отделки поверхности шеек должны быть строго прямолинейны (бочкообразность или вогнутость шейки не позволяет отделать эти поверхности прямолинейно двигающимся бруском).

При микрофинише, кроме высокой чистоты поверхности, можно достичь некоторого увеличения точности геометрической формы и размеров отделяемой шейки за счет удаления диаметального припуска, равного 0,025 мм. Этот метод, осуществляемый при давлении брусков на обрабатываемую поверхность до 100 кг/см², сочетает в себе достоинства методов отделки полированием и суперфиниша.

Во фланце, на шейках и в торце переднего конца распределительного вала сверлят отверстия, а на шейке под распределительную шестерню фрезеруют шпоночный паз. В новых конструкциях распределительных валов, кроме того, высверливают осевой сквозной канал.

Отверстия и шпоночные пазы обрабатывают на агрегатных станках или автоматических линиях.

При фрезеровании шпоночных пазов заготовки устанавливают в приспособлениях и базируют их по шейкам. Для угловой ориентации используют профиль необработанного кулачка (обычно первого). Приспособление для фрезерования шпоночных пазов приведено на рис. 20.

Если в конструкции распределительного вала предусмотрен осевой сквозной канал, то обычно сначала сверлят его, а затем обрабатывают отверстия в шейках и нарезают резьбу.

Сквозные осевые каналы в этих деталях имеют большую длину и обрабатываются двумя методами:

1) высверливанием полыми ружейными сверлами на горизонтально-сверлильных станках с вращением детали и подачей неподвижного сверла. Этот метод обеспечивает прямолинейность оси канала и минимальное отклонение его, но требует применения станков и инструмента специального назначения высокой стоимости;

2) двусторонним сверлением на многошпиндельных сверлильных станках. Это более дешевый и производительный метод сверления каналов; он применяется в тех случаях, если не предъявляются высоких требований к точности выполнения оси канала. Так, в распределительном

валу (рис. 21) осевой канал сверлят на двустороннем горизонтально-сверлильном станке с правой и левой четырехшпиндельными головками, снабженном стационарным приспособлением, в котором устанавливают одновременно по четыре заготовки (рис. 21).

Заготовки устанавливают крайними шейками Б и В в призмах 1 и поджимают к торцу первой левой шейки Г упорами 3. Сверху заготовки прижимаются прихватом 2, причем каждый прижим одновременно закрепляет по две детали.

Центральный канал диаметром 12 мм и длиной 610 мм сверлят одновременно с двух сторон с неоднократным выводом сверла. С обоих концов вала канал сверлится за 22 прохода. При каждом проходе ранее обработанное отверстие перекрывается на длину 2...3 мм.

Для повышения производительности и улучшения условий сверления используют специальные шнековые сверла с углом наклона спирали 60°. В этом случае сверлят отверстия диаметром 12 мм без принудительного вывода сверла для очистки его от стружки.

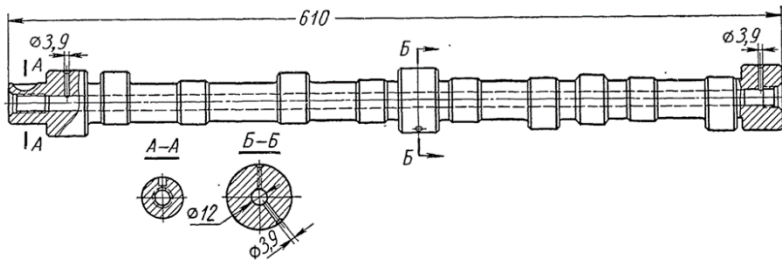


Рис. 21. Распределительный вал

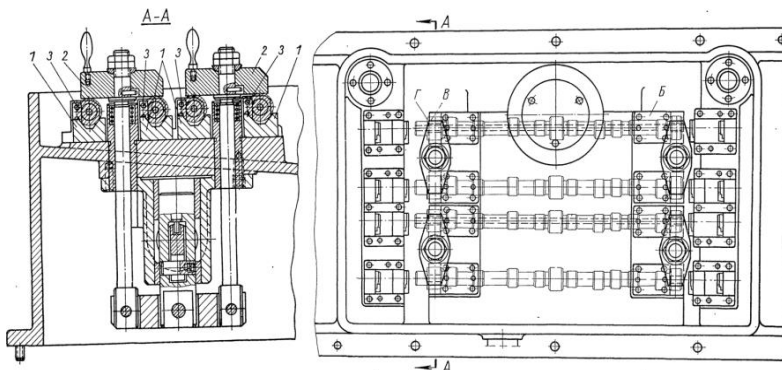


Рис. 22. Схема наладки двухстороннего горизонтально-сверлильного станка для сверления отверстия в распределительном валу

На рисунке 23 показана автоматическая линия для обработки шпоночных пазов и отверстий в распределительных валах автомобильных двигателей. На линии заготовки устанавливаются в специальном приспособлении-спутнике (рис. 24).

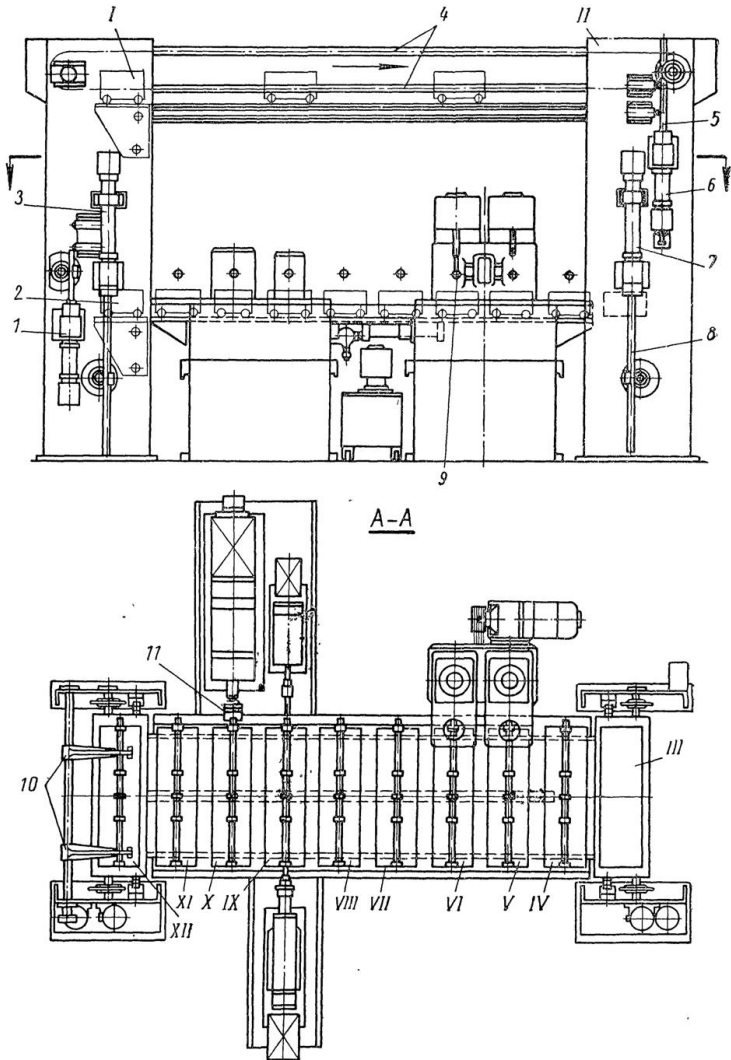


Рис. 23. Общий вид автоматической линии для обработки шпоночных пазов и отверстий в распределительном валу

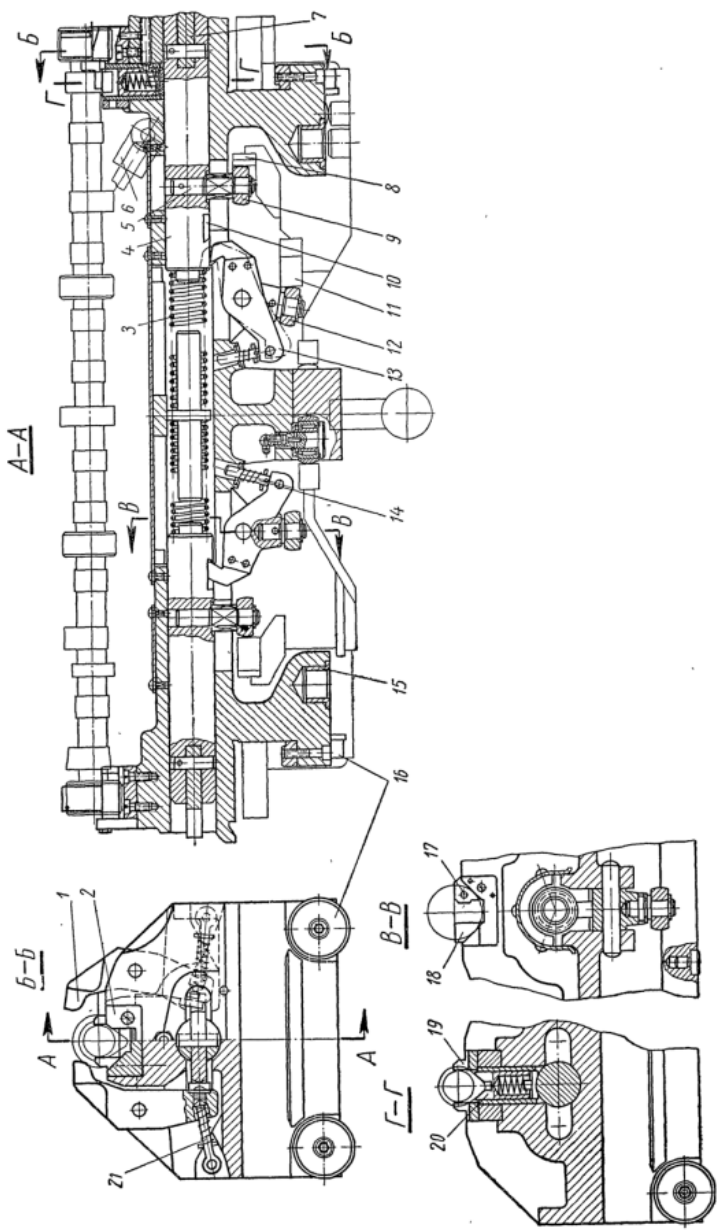


Рис. 24. Слутник для обработки распределительного вала на автоматической линии

Заготовка распределительного вала устанавливается на две призмы 17 и 19, расположенные по концам спутника. В осевом направлении заготовка фиксируется упором 18 по торцу первой коренной шейки, по окружности подпружиненной призмой 20 по первому кулачку распределительного вала. Губки 1 и 2, прижимающие заготовку к призмам, перемещаются с помощью клиньев 7, которые, в свою очередь, перемещаются штоками 4 под действием пружин 3.

Для разжима заготовки в оба штока 4 установлены два стопора 5 с роликом 9 на конце, упирающимся в соответствующие направляющие планки 8, благодаря чему штоки 4 перемещаются к середине спутника, сжимая пружины 3.

В поперечные пазы 10 штоков 4 под действием пружины 14 заходят концы рычагов 13, препятствующие обратному перемещению штоков к зажиму заготовки. Разжим губок 1–2 под действием пружин 21 происходит после того, как концы рычагов 13, перемещающиеся роликами 12 по направляющим 11, выйдут из пазов 10. После этого заготовка снимается со спутника специальным автооператором. В случае необходимости заготовка может быть освобождена от зажима вручную поворотом двух рукояток 6.

Спутник передвигается по направляющим транспортера на четырех роликах 16.

В рабочих позициях линии спутник прижимается прихватами, упирающимися в планки, и фиксируется фиксаторами, входящими в отверстие двух втулок 15.

Распределительный вал захватывается двумя автооператорами 21 (см. рис. 23), поворачивающимися на угол более 180° под действием гидропривода 1. Затем спутник 2 цепной передачей гидропривода 3 поднимается на верхнюю часть линии в позицию I, откуда цепным транспортером 4, приводимым в движение штоком 5 рейки гидропривода 6, поступает на позицию II и цепной передачей, с помощью штока рейки 8 гидропривода 7, опускается на позицию III.

Заготовки устанавливаются вручную на позиции III и затем закрепляются автоматически в спутнике на позиции IV.

На позиции V сверлится отверстие, радиально расположенное в шейке, а на позиции VI фрезеруется шпоночный паз фрезой, установленной в головке 9. Позиции VII и VIII промежуточные. На позиции IX на двустороннем горизонтально-сверлильном станке обрабатываются два отверстия, расположенные с обоих концов по оси вала.

Наружная резьба на конце вала нарезается на позиции X на горизонтально-сверлильном станке, оснащенный самораскрывающимся патроном 11.

На позиции XI вал раскрепляется и на позиции XII снимается автооператорами 10.

Обработка кулачков. Кулачки штампованных распределительных валов, прежде чем поступить на термическую обработку, обрабатывают на специальных копировально-токарных, а затем на копировально-шлифовальных станках, а после термической обработки 1 раз (иногда 2 раза) – на шлифовальных, а затем на полировальных станках.

Кулачки литых заготовок распределительных валов до термической обработки обрабатывают 2 раза только на шлифовальных станках, а затем обрабатывают на шлифовальных и полировальных станках.

Схема обтачивания кулачков на специальных копировальных полуавтоматах приведена на рис. 25.

Время однократной обточки кулачков стальной заготовки распределительного вала с 16 кулачками и общей длиной 600...1000 мм на станках этой модели равно 3...4 мин.

Для шлифования кулачков применяют станки, работающие методом копирования по полуавтоматическому циклу.

Трудоемкость шлифования в значительной степени зависит от припусков и метода шлифования. У штампованных заготовок распределительных валов припуск на шлифовании до термической обработки по наружному контуру кулачков после двукратного обтачивания составляет 0,5...0,8 мм.

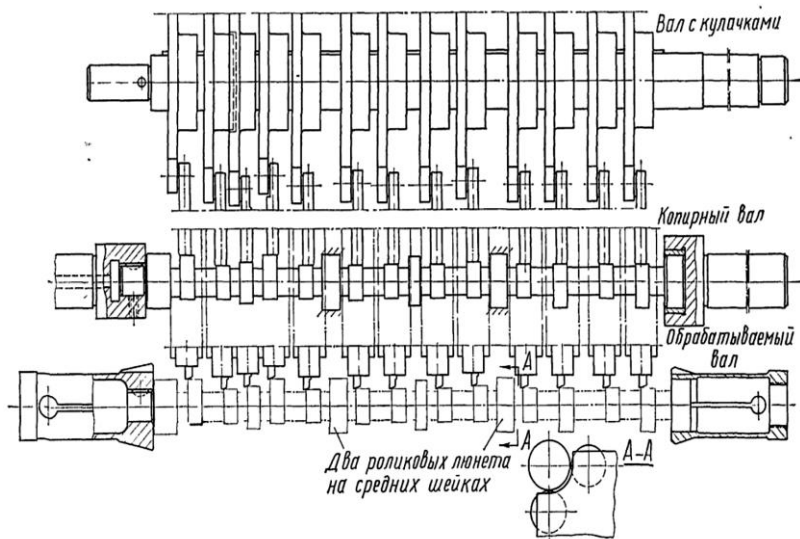


Рис. 25. Схема обтачивания кулачков распределительного вала на токарном многорезцовом копировальном полуавтомате

У заготовок, отлитых в скорлупчатые формы или в формы с местными кокилями, припуск на первое шлифование по наружному контуру кулачка колеблется в пределах $0,8 \dots 1,2$ мм, а после термической обработки в пределах $0,25 \dots 0,5$ мм.

Обычно применяют последовательное шлифование каждого кулачка отдельно по копиру (рис. 26). Распределительный вал 3 устанавливается в центрах бабок 2 и 4. Шлифовальный круг 5 получает поперечные перемещения от копиров 1 через ролик, закрепленный на диске. После шлифования одного кулачка шлифовальный круг перемещается к другому кулачку и профиль его шлифуется по следующему копиру.

Чтобы получить необходимую concentricность шеек и кулачков, заготовки на шлифовальных станках обычно устанавливают основными базами (шлифованными крайними опорными шейками) в точных цангах и двумя-тремя средними опорными шейками в гидрофицированных люнетах. Кроме того, заготовки устанавливают в центрах, вводя часто после термообработки перецентрировку вала. В угловом положении заготовки фиксируют по шпоночному пазу или по отверстию во фланце. Рабочий профиль кулачков в большинстве случаев шлифуют с поперечной подачей, при этом осциллографом записывается осевое перемещение шлифовального круга.

После термической обработки кулачки шлифуют на аналогичных копировальных круглошлифовальных станках. Шлифование кулачков после термической обработки осложняется возможностью появления прижогов и трещин на рабочей поверхности кулачков. В связи с этим по возможности уменьшают припуски на окончательное шлифование.

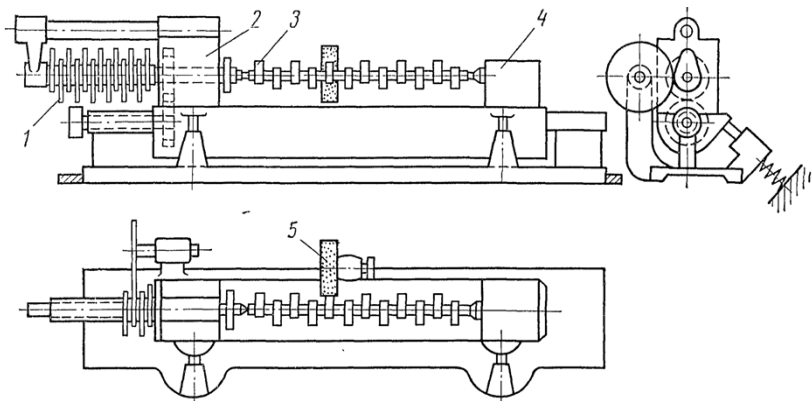


Рис. 26. Схема последовательного шлифования профиля кулачков распределительного вала на полуавтоматическом копировальном станке

Окончательно кулачки, как правило, полируют абразивной лентой. Обычно станок имеет несколько полировальных головок, число которых равно числу полируемых кулачков.

Схема полирования кулачков приведена на рис. 27. При полировании профиля кулачка 1 распределительного вала непрерывная абразивная лента 2 перемещается между роликами 3-3 и прижимается опорной пластинкой 6 при помощи пружины 5 и кулачка копира 4 к поверхности кулачка 1.

При полировании снимается припуск, равный 0,006...0,008 мм. Процесс идет при скорости вращения вала $v = 10...15$ м/мин. Поверхность кулачков полируется по 8-9-му классам чистоты. На полировальных станках заготовки устанавливаются в центрах. В угловом положении заготовка устанавливается по шпоночному пазу. Поверхности кулачков стальных распределительных валов закаливают т. в. ч. на специализированных закалочных автоматических машинах.

После закаливания и отпуска поверхностная твердость шеек и кулачков должна быть не ниже HRC 54...62. Закаленные поверхности имеют мартенситную структуру.

На некоторых заводах за рубежом чугунные распределительные валы перед черновым шлифованием кулачков закаливают и нагревают газовым пламенем. Кулачки нагревают в течение 20...30 с.

После термической обработки распределительный вал обычно прогибается, поэтому термически обработанные стальные заготовки подвергают правке на прессе. Схема правки заготовки приведена на рис. 28.

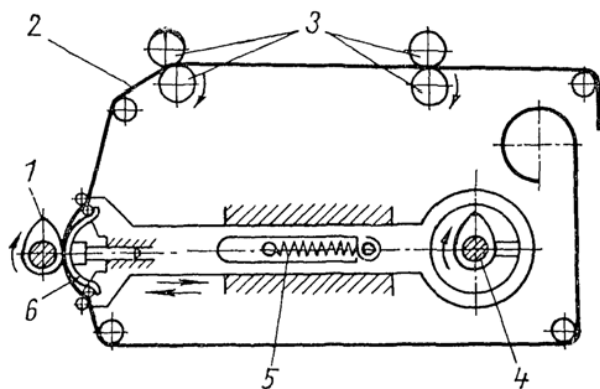


Рис. 27. Схема устройства для полирования кулачков

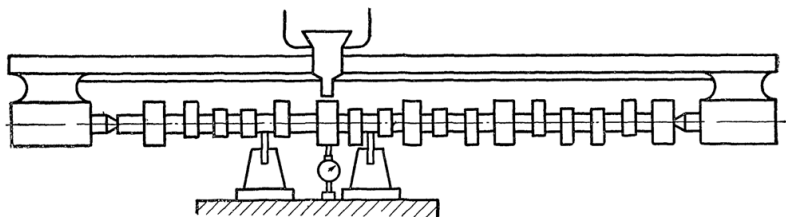


Рис. 28. Правка распределительного вала на прессе и проверка прогиба

2.5. КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

В процессе обработки после основных операций заготовки распределительных валов подвергают тщательному контролю. Кроме внешнего осмотра, для обнаруживания на рабочих поверхностях вала мелких трещин, раковин и т.д. валы проверяют на магнитных дефектоскопах.

Для контроля размеров шеек, их соосности и биения упорного торца фланца используют многомерные индикаторные или светофорные приспособления, оснащенные электроконтактными или индуктивными датчиками. Для контроля правильности расположения кулачков и их профиля используют компараторы, сравнения детали с эталонным валом. В компараторе эталонный и проверяемый распределительные валы располагаются параллельно друг другу. Затем валы синхронно вращают. В задней части прибора на специальной скалке устанавливают откидные кронштейны с индикаторами (рис. 29). Индикаторы связаны со штифтами, которые имеют роликовые наконечники, перекатывающиеся по поверхности кулачков контролируемого вала.

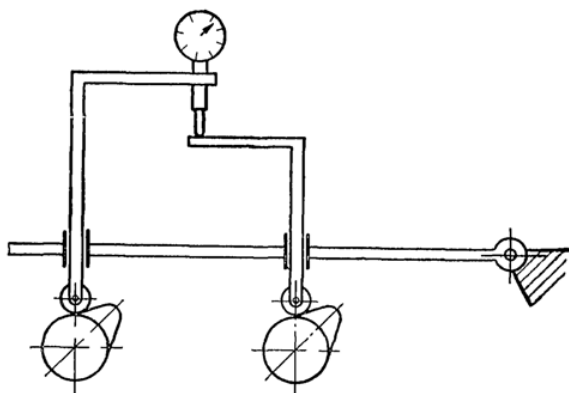


Рис. 29. Схема контрольного прибора для проверки профиля кулачков распределительного вала

Другие штифты находятся в контакте с кулачками эталонного вала и упираются в пуговицы индикатора. Если кулачки эталонного и контролируемого валов имеют одинаковый профиль и углы расположения, то плечо Н при синхронном вращении обоих валов не изменится. Если какой-либо кулачок контролируемого вала имеет погрешность формы или расположения, то плечо Н изменяется и стрелка индикатора отклоняется. На лимбе шкива или маховичка прибора отсчитываются соответствующие углы поворота валов. В таблице 4 приведен технологический маршрут обработки распределительного вала автомобильного двигателя (заготовка – отливка из серого специального чугуна).

4. Технологический маршрут обработки распределительного вала

№ опер	Операция	Оборудование	Технологическая база
1	Фрезерование торцов вала и центрование с двух сторон	Фрезерно-центровальный двухсторонний станок	Крайние опорные шейки. Фиксация вала в осевом направлении по торцу третьей опорной шейки
2	Обтачивание от первой до четвертой шеек, шейки под распределительную шестерню, опорных шеек и венца шестерни; подрезание торцов и снятие фасок. Предварительное шлифование четырех опорных шеек и окончательное шлифование венца шестерни	Автоматическая линия, состоящая из двух токарных многорезцовых и двух круглошлифовальных автоматов	Центровые отверстия
3	Фрезерование шпоночной канавки и сверление отверстий в переднем конце вала	Агрегатный станок с многопозиционным столом	Первая и четвертая опорные шейки и торец первой опорной шейки. Фиксация положения вала по одному из кулачков

Продолжение табл. 4

№ опер	Операция	Оборудование	Технологическая база
4	Сверление трех отверстий в заднем конце вала	Агрегатный однопозиционный станок	Первая и четвертая опорные шейки и задний торец вала
5	Предварительное шлифование кулачков	Круглошлифовальный полуавтомат	Центровые отверстия и шпоночная канавка
6	Нарезание зубьев шестерни привода маслососа и распределителя зажигания	Зубофрезерный двухшпиндельный полуавтомат	Центровые отверстия
7	Снятие фасок на торцах зубьев	Специальный фрезерный станок	Шейки под распределительную шестерню и заднее центровое отверстие
8	Промывание	Моечная машина	–
9	Контроль	Приспособление	–
10	Окончательное шлифование опорных шеек и шейки под распределительную шестерню	Автоматическая линия, состоящая из двух круглошлифовальных станков	Центровые отверстия и шпоночный паз
11	Вторичное шлифование кулачков	Круглошлифовальный полуавтомат	Центровые отверстия и шпоночный паз
12	Окончательное шлифование кулачков	То же	То же
13	Полирование торца первой	Полировальный полуавтомат	Центровые отверстия
14	Полирование шеек и кулачков	То же	То же
15	Промывание	Моечная машина	–
16	Контроль	Специальные приспособления	–

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

3.1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Коленчатый вал является одной из наиболее ответственных деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания. Коленчатые валы автомобильных и тракторных двигателей обычно имеют от двух до восьми опорных коренных шеек и до восьми шатунных.

Двухопорные коленчатые валы чаще всего применяют в микролитражных двигателях. Трех-, пятиопорные коленчатые валы используют в двигателях среднелитражных автомобилей и тракторов. Семиопорные, коленчатые валы и валы с большим числом опор ставят на двигателях крупных легковых и грузовых автомобилей и тяжелых тракторов.

Коленчатые валы изготавливают с противовесами или без них. Кривошипы коленчатых валов располагают под углом 180° или 120° и реже под углом 90° .

Шейка переднего коленчатого вала имеет обычно пазы под сегментные шпонки. Задний конец коленчатого вала выполняют с фланцем или без него. Между фланцем и задней шейкой располагают маслосгонные канавки.

Размеры коленчатых валов автотракторных двигателей колеблются в пределах: длина вала 550...1200 мм; диаметр коренных шеек 50...95 мм и их длина 30...95 мм; диаметр шатунных шеек 45...90 мм, их длина 45...90 мм; радиус кривошипа 36,5...102,5 мм и диаметр фланца 117...190 мм.

Коренные и шатунные шейки должны быть обработаны по 1-му классу точности. Шейки обрабатывают по 9–10-му классам чистоты; овальность, конусность и вогнутость должны находиться в пределах 0,005...0,01 мм.

Непараллельность осей шатунных шеек и крайних коренных не должна превышать 0,01...0,03 мм на всей длине вала. Шейку под подшипник и шейку переднего конца необходимо обрабатывать по 2-му классу точности. Шероховатость поверхностей этих шеек должна соответствовать 7–8-му классам. Непараллельность оси шейки под подшипник относительно осей шатунных и средних коренных шеек не должна превышать 0,01...0,02 мм. Неплоскостность торца фланца, к которому крепится маховик, должна быть не более 0,04...0,1 мм, а биение на длине его радиуса 0,03...0,05 мм. Масляные каналы в шатунных и коренных шейках имеют диаметр 5...10 мм.

Коленчатые валы подвергают динамической балансировке. Допускаемая динамическая неуравновешенность коленчатых валов колеблется в пределах 1471...2942 КПа.

Некоторые типы валов автомобильных и тракторных двигателей приведены на рис. 26.

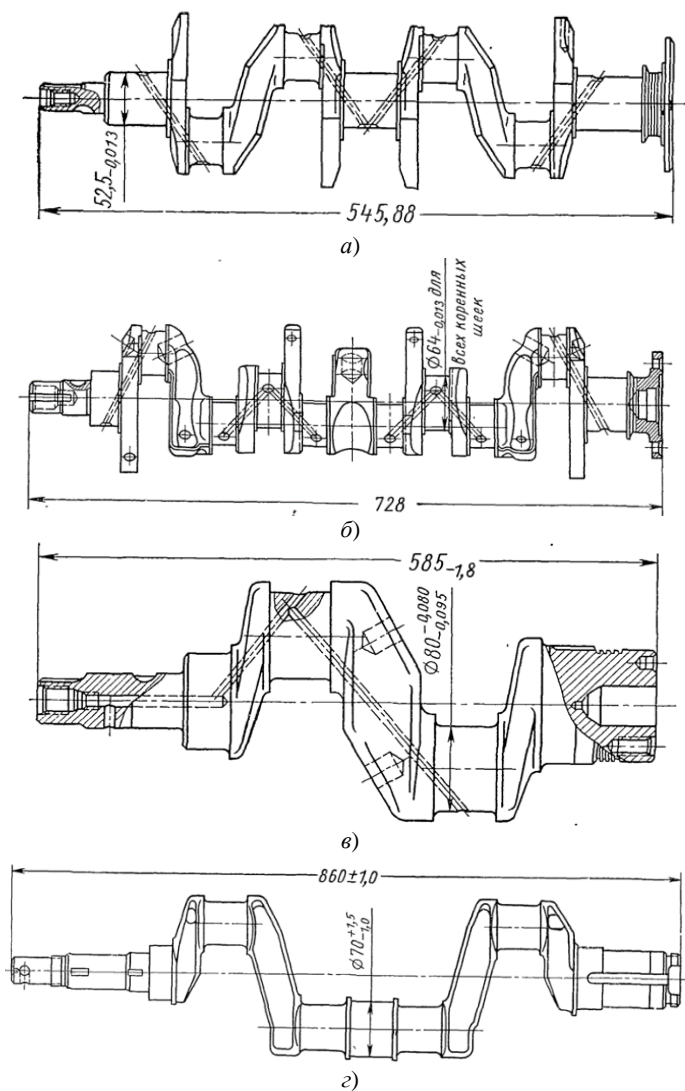


Рис. 26. Автомобильные коленчатые валы:
 а – двигателя малолитражного автомобиля; б – двигателя грузового автомобиля; в – тракторного быстроходного двигателя;
 г – тракторного двигателя средней мощности

Характеристика типовых коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей приведена в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика вала	Двигатель					
	автомобильный			тракторный		
Диаметр шеек, мм:						
коренных	64	75	51...48	85	85	95
шатунных	51,25	66	48	85	75	92
Длина шеек, мм:						
коренных	32	58	45	90	54	127
шатунных	32	31	31,7	54	46	87
Длина вала, мм	728	784	545,5	1004	805	1437
Радиус кривошипа, мм:	55	47,5	36,5	76	65	102,5
Допуск на диаметр шеек, мм	0,013	0,013	0,01	0,02	0,03	0,025
Чистота поверхности шеек (класс)	8	8	9	7	8	8
Допускаемое биение, мм:						
коренных шеек	0,02	0,03	0,01	0,05	0,03	0,04
торца фланца	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04
шейки под подшипник	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04
Овальность и конусность шеек вала, мм	0,01	0,01	0,01	0,02	0,015	0,015
Диаметр масляных каналов, мм	6,5	6	7,75	7	8	10
Длина маслосгонной резьбы, мм	...	6	4	6	10	13
Диаметр фланца, мм	122	140	117,4	160	145	190
Диаметр отверстий во фланце, мм	12	14	15,8	16	14	M20x1,5
Допускаемая динамическая неуравновешенность, КПа	1471	1961	1961			
Материал коленчатого вала	Сталь 45			Чугун	Сталь 45	
Твердость HB заготовки	179... 228	229... 269	207...2 41	207... 295	207... 241	207... 251
Твердость RC шеек после термообработки	52...62	52...62	52...62	52...62	52...62	48...58

3.2. МАТЕРИАЛ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Коленчатый вал работает в условиях переменных нагрузок. При работе двигателя коленчатый вал в результате одновременного действия сил инерции и моментов испытывает знакопеременные напряжения.

Материалы коленчатых валов должны обладать хорошими механическими и пластическими свойствами, высокой износостойкостью и высокой циклической вязкостью.

Коленчатые валы автотракторных двигателей изготавливают из углеродистых и легированных сталей или из высокопрочных чугунов, модифицированных магнием, из никелемолибденовых чугунов, чугунов, модифицированных церием, и др., а также из сталей, полученных методом отливки. Литые валы обычно полые (рис. 27), имеют несколько увеличенные диаметры коренных и шатунных шеек, большую толщину щеки радиусы галтелей. Литые валы имеют меньшую прочность при изгибе, чем кованные валы. Внутренние полости литых валов обычно бочкообразные, благодаря чему уменьшается неравномерность толщины тела в разных сечениях вала и повышается плотность отливки.

Большинство коленчатых валов изготавливают из сталей марок 45, 45X, 45Г2 и 50Г. Коленчатые валы дизелей, работающие в условиях высоких нагрузок, изготавливают из сталей марок 18ХНМА, 18ХНВА и 40ХНМА.

Большинство заготовок валов, выполняемых из сталей, штампуют, а отливают только из легированных сталей.

Заготовки коленчатых валов подвергаются термической обработке (отжигу и нормализации), при которой снимаются внутренние напряжения в металле и нормализуется ее твердость, что облегчает условия обработки заготовок на металлорежущих станках. После отжига и нормализации твердость заготовок колеблется в пределах HB 177...255.

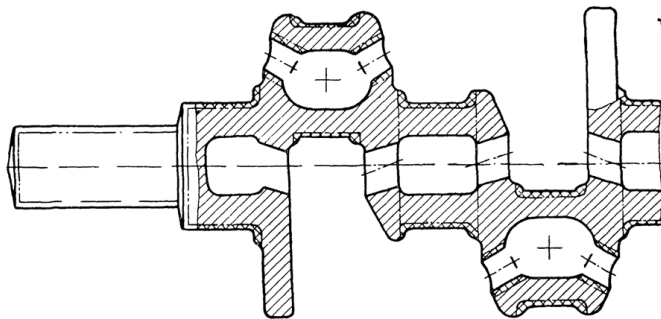


Рис. 27. Заготовки пологоколенчатого вала

После предварительной обработки на металлорежущих станках поверхности коренных и шатунных шеек стальных валов подвергают вторично термической обработке (закалке и отпуску). Закалка проводится т. в. ч. на специальных агрегатах, а низкотемпературный отпуск, осуществляемый для снятия напряжений, – в специальных печах конвейерного типа.

Вторичная термическая обработка улучшает механические свойства стали, повышает поверхностную твердость и износостойкость шеек.

Чугунные литые коленчатые валы автомобильных и тракторных двигателей по некоторым показателям превосходят стальные штампованные валы.

Специальные чугуны, из которых отливают коленчатые валы, отличаются от обычных ковких чугунов присутствием хрома (0,2...0,25%), повышенным содержанием марганца (1,15...1,4%), низким содержанием серы (0,002...0,14%), присутствием церия и других легирующих компонентов.

Свойства чугунов со сфероидальным графитом соответствуют свойствам высококремнистой стали, содержащей свободный сфероидальный графит. Твердость таких чугунов выше, чем у чугунов с пластинчатым графитом, которые имеют одинаковую со сфероидальными чугунами структурную металлическую основу.

Чугун со сфероидальным графитом более жидкотекуч, чем сталь, однако температура его заливки значительно ниже. По объемной усадке он близок к стали. Отливки из этого чугуна более плотные, весьма износоустойчивые и лучше обрабатываются на металлорежущих станках.

Практика применения чугунов со сфероидальным графитом показала, что коленчатые валы, изготовленные из них, имеют высокие эксплуатационные качества.

Для коленчатых валов применяют также серые чугуны, модифицированные сплавом ферроцерия с магнием (10% железа, около 40% церия и 5...8% магния).

Чугуны, используемые для изготовления коленчатых валов, обладают высокими антифрикционными свойствами и поэтому нет необходимости повышать твердость опорных шеек, обычно работающих в баббитовых или алюминиевых подшипниках.

Масса литых коленчатых валов на 10...15% меньше, чем кованых. Припуски на механическую обработку у литых заготовок значительно меньше, чем у штампованных заготовок. Шейки литых коленчатых валов, выполненных из фрикционных чугунов, в последующих операциях не подвергают закаливанию.

Литая заготовка коленчатого вала автомобильного двигателя, выпускаемого фирмой Джeneral Моторе (США), весила 29 кг, причем 4,5 кг, или 15%, металла удалялось в стружку при механической обработке.

Штампованная заготовка такого же вала весила 34,5 кг и около 23,5% удалялось в стружку.

Литые заготовки, имеющие значительно меньшую неуравновешенность, чем штампованные, обрабатывают на металлорежущих станках с широким использованием инструментов, изготовленных из твердых сплавов.

После закаливания и отпуска поверхностная твердость шеек у валов, изготовленных из сталей марок 45, 50Г, 40ХНМ и 18ХНВА, колеблется в пределах RC 52-62. Глубина закаленного слоя должна быть не менее 3,0...6,5 мм, а твердость шеек на глубине закаленного слоя RC 45.

3.3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Штампованные заготовки необходимо качественно проковать, особенно в местах расположения коренных и шатунных шеек, т.е. в местах наибольших напряжений. Не допускается перерезание волокон, особенно в зоне сопряжения шеек вала со щеками. Припуски на механическую обработку должны быть минимальными.

Литые заготовки должны иметь плотную структуру, без раковин и песочин на наружных поверхностях. Отливку надо тщательно очистить от формовочной смеси и пригоревших стержней, полости в шейках отливки должны быть очищены. Все заливы и заусенцы по линии разъема следует зачистить заподлицо с поверхностью заготовки.

Технические условия на штампованные и литые заготовки коленчатых валов длиной 800...1200 мм с диаметром шатунных шеек 60...80 мм и коренных шеек 70...80 мм приведены в табл. 6.

Заготовки стальных коленчатых валов изготавливают штампованием на молотах и прессах по 8–9-му классам точности. При серийном производстве заготовки штампуют на молотах, а при массовом – обычно на ковочных прессах. Штамповка заготовок на ковочных прессах обеспечивает повышение производительности в 1,5–2 раза, уменьшение штамповочных уклонов до 3...6°, припусков на механическую обработку на 30...40% и расхода металла на 10...12%.

Исходным материалом для штампования служит квадратный или круглый катаный прутки или периодический фасонный прокат. Наиболее экономично применение фасонного проката. В этих случаях масса исходной заготовки уменьшается на 5...8%.

Таблица 6

Параметры	Заготовка (размеры даны в мм)	
	штампованная	литая
Перекося:		
продольный	1,0...2,0	0,2...0,5
поперечный	1,0...1,75	0,2...0,5
Эллиптичность шеек	1,5...2,0	0,5...1,0
Кривизна вала	1,0...1,5	1,0...1,5
Смещение штамповки в торце вала	0,5...1,0	...
Смещение отливки в продольном и поперечном направлениях	...	0,2...0,4
Неперпендикулярность торца фланца	0,5...0,8	0,3...0,4
Припуски по:		
диаметру шатунных шеек	6,0...6,5	3,0...3,5
диаметру коренных шеек	5,0...5,5	3,0...3,5
торцам шатунных и коренных шеек	3,0...4,0	1,5...2,0

Наибольшее распространение получил следующий процесс штампования заготовок. После подогрева и разрезки прутков на штанги заготовки противовесами штампуют за две операции, без противовесов – за одну операцию. В первом случае заготовки сначала обрабатывают в двух ручьях (подкатном и гибочном), а затем – водном ручье (окончательном, рис. 28). Во втором случае заготовки обрабатывают в трех ручьях: подкатном, гибочном и окончательном. Применение гибочного ручья исключает перерезание волокон в местах сопряжения шеек вала со щеками.

Заготовки валов с расположением кривошипов под углом 120° при наличии противовесов, штампованных как одно целое валом, подвергают выкрутке на специальном прессе. Фланцы у заготовок высаживают на горизонтально-ковочных машинах. После штампования у заготовок обрезают заусенцы на обрезных прессах, затем нагретые заготовки правят и очищают от окалины в травильных или дробеструйных установках. После этого проверяют твердость заготовок, их основные размеры, прогиб вала и т.п.

Технологический маршрут изготовления заготовок коленчатых валов длиной 800...1200 мм с диаметром шатунных и коренных шеек 60...70 мм приведен в табл. 7.

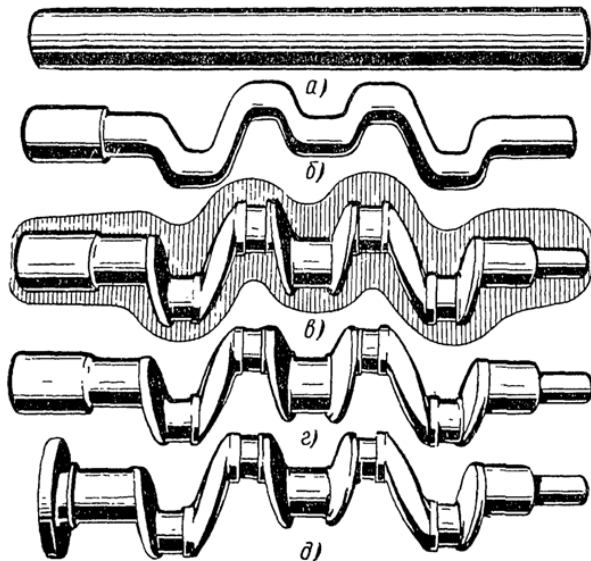


Рис. 28. Формообразование заготовки коленчатого вала при штамповке на механическом прессе:

а – заготовка под штампование; *б* – гибка; *в* – предварительное и окончательное штампование на ковочном прессе; *г* – обрезание заусенцев на эксцентриковом прессе; *д* – высаживание фланца на ковочной машине и горячая правка на чеканочном прессе

На заводе фирмы Форд (США) процессы подготовки к штампованию полностью автоматизированы. Со склада металла заготовки с помощью гидравлического приспособления передаются в методическую печь для нагрева или на пресс-ножницы для разрезки. Разрезанные на штанги заготовки нагреваются в карусельной методической печи, после чего снова поступают на конвейер и под действием собственной массы перемещаются на поворотный стол, вокруг которого установлен четырехструйный водный очиститель для снятия окалины.

Очищенная заготовка подвергается предварительному штампованию на ковочных вальцах консольного типа. Окончательно заготовка штампуется в двухручьевом штампе на кривошипном горячештампованном прессе. Заусенцы обрезаются на обрезном прессе, куда заготовки поступают по транспортеру. Фланцы высаживаются на горизонтально-ковочной машине.

Заготовка с высаженным фланцем по монорельсу передается на пресс для окончательной правки.

Таблица 7

Операция	Оборудование	Производительность, шт/ч	
		с противовесами, фланцем и кривошипами, расположенными под углом 120°	без противовесов и фланца и с кривошипами, расположенными под углом 180°
Нагревание штанг	Методическая печь	–	–
Отрезание штучных заготовок	Пресс-ножницы	38	50
Нагревание заготовок	Методическая печь	–	–
Предварительное штампование	Пресс	20...30	30...40
Окончательное штампование	Пресс	20...30	20...30
Обрезание заусенцев	Обрезной пресс	20...30	20...30
Выкрутка колен	Выкрутной пресс	10...20	–
Высаживание фланца	Горизонтально-ковочная машина	15...20	–
Подогрев и правка	Чеканочный пресс	10...15	15...20
Очистка от окалины	Дробеструйная установка	20...30	20...30
Нормализация	Методическая печь	–	–
Закалка	То же	–	–
Отпуск	То же	–	–
Правка в холодном состоянии	Пресс	10...15	15...20
Зачистка для контроля твердости	Точило	10...15	15...20

Из зоны охлаждения заготовки по монорельсу поступают в термическое отделение, где их вручную устанавливают на тележку монорельсового конвейера. Тележка с заготовками проходит через закалочную газовую печь и поступает на закалку в бак с водой. Закаленные заготовки направляются в газовую печь для отпуска. Охлаждаются заготовки в водяной ванне, затем очищаются в дробеструйной установке. В конце линии установлены станки для сверления в заготовках центровых отверстий.

Контроль заготовок производится выборочно. Заготовки штампованных валов обрабатывают по 8–9-му классам точности.

Заготовки литых валов получают в основном двумя методами: отливкой в земляные и в оболочковые формы. При отливке в земляные формы используют сырые и сухие формы, изготовленные из смеси земли с жидким стеклом, которые затем просушивают и продувают углекислым газом.

Более прогрессивным, широко применяемым в последние годы методом, является отливка в оболочковые формы. Заготовки коленчатых валов, отлитые в оболочковых формах, имеют высокую точность (5 – 7-й класс) и чистоту поверхности (до 4-го класса), повышенную плотность, хорошие эксплуатационные качества. Температура заливки металла позволяет отливать чугуны с присадками магния, ферросилиция, марганца и др.

При отливке в оболочковые формы в 10 – 15 раз сокращается расход формовочной смеси и облегчается выбивка опок.

Оболочковые формы заливают при горизонтальном положении вала (рис. 29, а) или при вертикальном положении вала (рис. 29, б). Чугунные заготовки коленчатых валов, пройдя термическую обработку, правят в горячем состоянии.

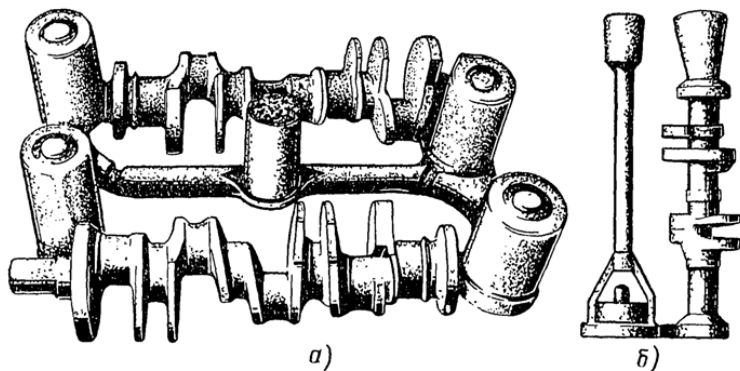


Рис. 29. Отливка заготовок коленчатых валов

3.4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК

Основными операциями при механической обработке заготовок коленчатых валов являются:

- 1) обработка технологических баз (торцов, центровых отверстий и платиков);
- 2) обработка коренных и шатунных шеек, щек и галтелей;
- 3) обработка масляных каналов;
- 4) обработка отверстий во фланце и на концах вала;
- 5) отделка поверхностей шеек;
- 6) балансирование вала.

Торцы и центровые отверстия обрабатывают на фрезерно-центровальных станках за одну операцию и на фрезерных и центровальных станках за две операции. Для массового производства валов часто применяют станки барабанного типа.

Заготовка центрируется по двум крайним коренным шейкам в приспособлении сходящимися призмами 1 и 2 (рис. 30), которые перемещаются гидравлически или пневматически независимо одна от другой, что обеспечивает некоторое выравнивание заготовки при установке и закреплении; в осевом направлении заготовка фиксируется подвижной призмой 3. Приспособления барабанного типа используют для установки четырех и более заготовок.

Получают применение четырехпозиционные фрезерно-центровальные станки, на которых фрезеруют торцы, платики на щеках (угловые базы) и сверлят центровые отверстия. Одна из четырех позиций станка является загрузочно-разгрузочной; сьем заготовки механизирован.

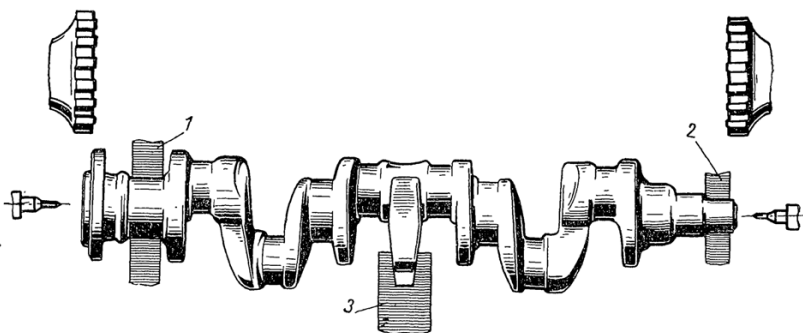


Рис. 30. Схема ориентирования заготовки коленчатого вала при фрезеровании и центровании торцов:

1 и 2 – центрирующие призмы; 3 – регулируемая призма для установки вала в осевом направлении

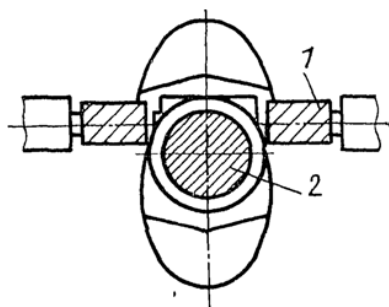


Рис. 31. Схема фрезерования установочных площадок на противовесах щеках:
 1 – фреза; 2 – заготовка

Весь цикл работы станка, включая закрепление заготовки, подачу и поворот стола с заготовками, полностью автоматизирован.

На первой позиции заготовки устанавливаются в центрирующих призмах по крайним шейкам и упираются в торец фланца или среднюю шейку; на второй позиции торцовыми фрезами одновременно фрезеруются оба торца вала; на третьей позиции комбинированными центровочными сверлами обрабатываются центровые отверстия; на четвертой позиции платики, установленные на крайних щеках, обрабатываются фрезами, закрепленными в горизонтальных шпиндельных головках (рис. 31).

В последние годы стали применяться балансирующе-центровальные станки, которые центрируют заготовки не по геометрической оси, а по оси инерции. Заготовки устанавливаются в сбалансированном зажимном приспособлении, которое вращается вокруг горизонтальной оси. Благодаря специально предусмотренной системе заготовка автоматически изменяет положение во вращающемся приспособлении, так что при определенном числе оборотов ось инерции ее совмещается с осью центрующих сверл, установленных в шпинделях станка.

Обработка шеек. На большинстве заводов шейки стальных валов до термической обработки обрабатывают на токарных и шлифовальных станках, а после термической обработки – на шлифовальных, полировальных или на станках для суперфиниша. В ряде случаев применяют фрезерование шеек. Между токарными и шлифовальными операциями заготовка вала подвергается правке, а в некоторых случаях – пересцентровке.

При крупносерийном и массовом производстве валов на токарных, сверлильных и шлифовальных операциях применяют автоматические линии.

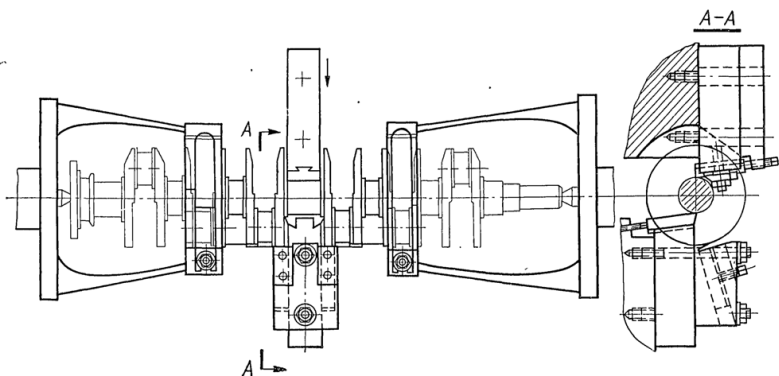


Рис. 32. Обработка средней коренной шейки коленчатого вала на токарном многорезцовом станке

При обтачивании коренных шеек заготовки длинных коленчатых валов обычно устанавливают в центрах с опорой по средней коренной шейке. Для этого средняя коренная шейка предварительно обрабатывается на токарном и шлифовальном станках.

Для токарной обработки используют обычно специализированные многорезцовые станки с двусторонним приводом. На этих станках заготовки устанавливаются в центрах двух патронов (рис. 32). Для обеспечения постоянной скорости резания в процессе обработки в конструкциях станков предусмотрено бесступенчатое изменение чисел оборотов шпинделя. Станки позволяют обтачивать шейки с точностью до $0,2 \dots 0,3$ мм (5 – 7-й класс) по 4-му классу чистоты. Биение шеек вала равно $0,3 \dots 0,5$ мм.

После токарной обработки средняя шейка шлифуется под люнет методом врезания. Одновременно с шейкой шлифуются торцы и галтели. На шлифовальных станках в таких случаях заготовки устанавливают в центрах, а вращение заготовок осуществляется поводковыми устройствами (за крайние щеки). Шлифуемая шейка обычно опирается на регулируемый люнет, и точность обработки диаметра шейки колеблется в пределах 3-го класса. Используя среднюю коренную шейку как дополнительную опору, в последующих операциях обтачивают остальные коренные шейки, фланец и передний ступенчатый конец; одновременно с этим подрезают торцы шеек, фланца и обтачивают галтели. Для этого используют токарные многорезцовые полуавтоматы с центральным приводом (например, модель 186 и др.). На этих станках заготовки устанавливаются в центрах, а средняя коренная шейка – в люнете (рис. 33). Поводком является щека средней шейки. На этой операции одновременно обтачивают остальные коренные шейки (кро-

ме средней), ступенчатый конец вала, фланец и подрезают торцы шек и галтели. Шейки обтачивают широкими радиальными призматическими резцами, установленными в передних и задних суппортах.

В последнее время получили применение токарные полуавтоматы, снабженные не двумя, а тремя суппортами. Третий суппорт, расположенный в верхней части станка, имеет подачу сверху вниз и служит для чистового обтачивания шек и галтелей. Благодаря этому за одну операцию точность диаметров шеек доводится до 3–4-го классов, более точно выдерживается цепь линейных размеров вала и снижается припуск на последующих операциях.

При токарной обработке длинных валов с малой жесткостью однорядных многоцилиндровых двигателей для предотвращения закручивания валов при обтачивании радиальными резцами применяют токарные полуавтоматы с двумя центральными приводами.

Если для обтачивания используются трехсуппортные станки, то вал после однократной токарной обработки передается для правки и шлифования шеек. При обтачивании валов на двухсуппортных станках обычно вводят третью токарную операцию – чистовое обтачивание шеек и концов вала, а также подрезание торцов и галтелей.

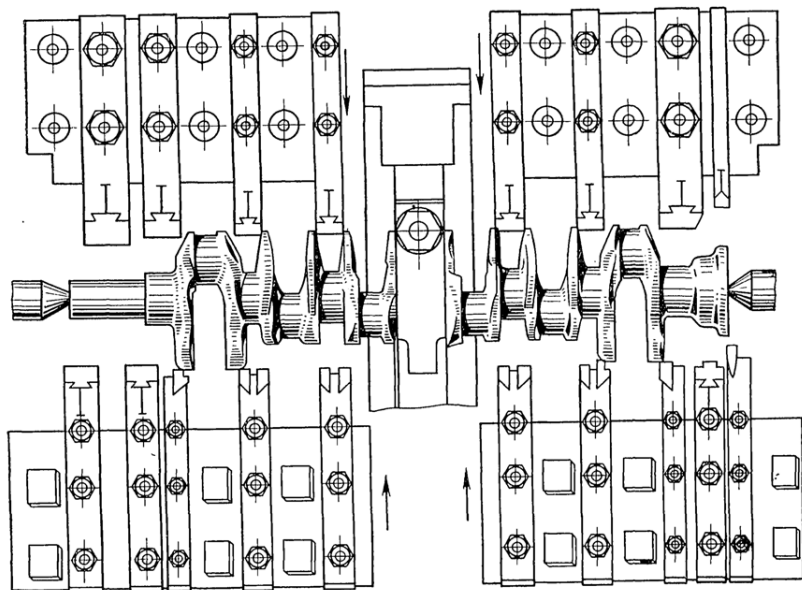


Рис. 33. Эскиз наладки токарного многорезцового станка для обтачивания коренных шеек (кроме средней), ступенчатого конца, фланца и подрезания торцов и галтелей

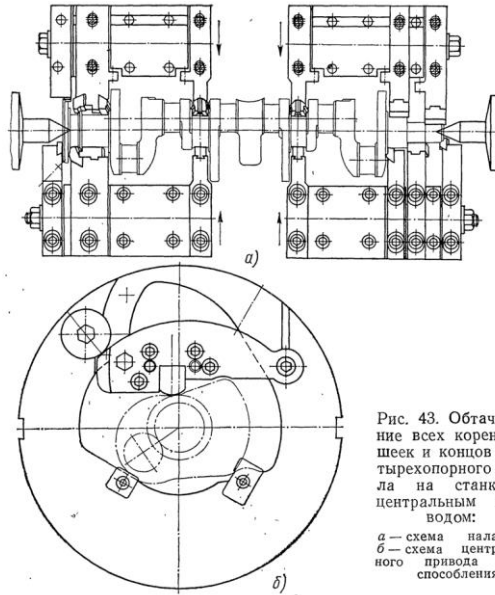


Рис. 43. Обтачивание всех коренных шеек и концов четырехпорного вала на станке с центральным приводом:
a — схема наладки;
б — схема центрального привода приспособления

Рис. 34. Обтачивание всех коренных шеек и концов четырехпорного вала на станке с центральным приводом:

a — схема наладки; *б* — схема центрального привода приспособления

При обработке коротких валов с большой жесткостью и валов без средней коренной шейки токарную обработку коренных шеек и концов вала сводят к одной операции, при этом вал приводится во вращение центральным приводом станка, который захватывает вал за средние шейки (рис. 34). Все поверхности, соосные с поверхностями коренных шеек, обрабатывают за одну операцию. Чтобы перейти ко второй части токарной обработки вала, т.е. к обтачиванию шатунных шеек, необходимо подготовить точные основные базы (коренные шейки). Для этого предварительно шлифуют все коренные шейки и концы вала на двух- или многокаменных круглошлифовальных станках (рис. 35).

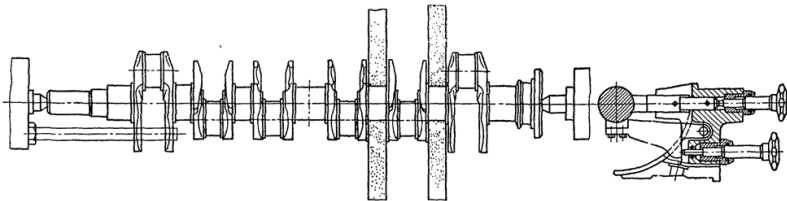


Рис. 35. Одновременное шлифование двух коренных шеек коленчатого вала на двухкаменных круглошлифовальных станках

Шатунные шейки обтачивают попарно (по две шейки, лежащие на одной оси вращения), например, сначала первую и шестую, затем вторую и пятую и, наконец, третью и четвертую или все шейки одновременно. В обоих случаях подрезают плоскости прилегающих к шейкам щек и протачивают галтели. Так, в первом случае обтачивание шатунных шеек шестиколеччатого вала должно выполняться за три операции, во втором – все шатунные шейки можно обработать одновременно. Для обработки по первому варианту могут быть использованы станки с двусторонним приводом (модели 187). В этом случае колеччатый вал устанавливают в положение, при котором оси двух шеек, подлежащих обработке, совпадают с осью вращения шпинделя станка. Для установки и зажима вала используются такие же приспособления, как и для обтачивания средней коренной шейки. При установке вала в приспособлениях ось коренных шеек смещается по отношению к оси вращения шпинделя на величину радиуса кривошипа.

Для обработки шеек по второму варианту используют станки специального назначения, число рабочих суппортов которых соответствует числу обрабатываемых шатунных шеек. Вал устанавливают по крайним коренным шейкам и опирают на люнеты – коренными шейками.

В обоих случаях угловое базирование вала осуществляется специальными сухарями, фиксирующими его по фрезерованным платикам (угловым базам) на крайних щеках. Вал вращается вокруг оси коренных шеек, а суппорты движутся вместе с обрабатываемыми шейками, воспроизводя движение шатунов, закрепленных на этих шейках. В каждом суппорте имеется резцедержатель с тремя резцами: два крайних фасонных резца служат для подрезания щек и протачивания галтелей и один средний (широкий прямой) – для обтачивания цилиндрической части шейки. Резцы имеют радиальную подачу (рис. 36).

Станок снабжен двумя копирными колеччатыми валами 2 и 3, вращающимися синхронно с обрабатываемым валом 1 и управляющими движениями суппортов. Резцом 4 обтачивают шейки.

Шатунные шейки обтачиваются с подачами, меньшими, чем при токарной обработке коренных шеек. Это вызвано стремлением уменьшить деформацию (закручивание) валов.

Для одновременной токарной обработки всех шатунных шеек и их щек применяют двухшпиндельные станки. На этих станках обрабатывают одновременно два вала с последовательным или параллельным совмещением переходов. В первом случае на одной позиции станка подрезают щеки и протачивают галтели, а на другой позиции обтачивают шейки. При этом вал необходимо устанавливать 2 раза. Сначала его устанавливают в верхнюю позицию, затем переключают на нижнюю.

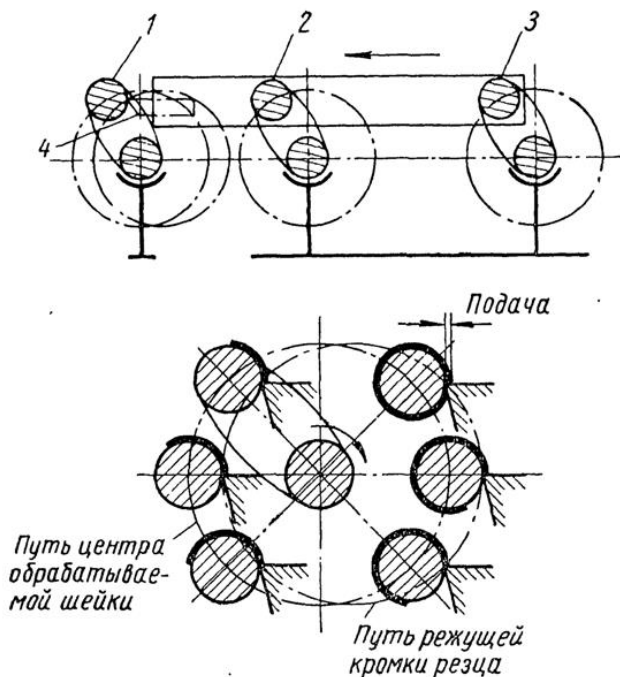


Рис. 36. Схема одновременного обтачивания всех шатунных шеек коленчатого вала

Для обработки сравнительно коротких валов с большой жесткостью такой станок налаживают на обработку двух валов параллельно. В этом случае на каждой позиции обрабатывают и щеки, и шейки, т.е. вал обрабатывается за одну установку и после одного рабочего цикла со станка снимают два обработанных вала.

При крупносерийном и массовом производстве коренные и шатунные шейки часто обрабатывают на автоматических линиях.

Для одновременного обтачивания всех шатунных шеек и щек одной высокоточной заготовки с малыми припусками применяют токарные многолезцовые полуавтоматы. Эти станки снабжены двумя комплектами суппортов со встречным направлением подач, что позволяет обтачивать все шатунные шейки начерно и начисто за одну установку (рис. 37).

В резцедержателе заднего суппорта установлено два треугольных призматических резца 4 и 5 для протачивания крайних цилиндрических участков шейки и предварительного подрезания ее торцов (рис. 38).

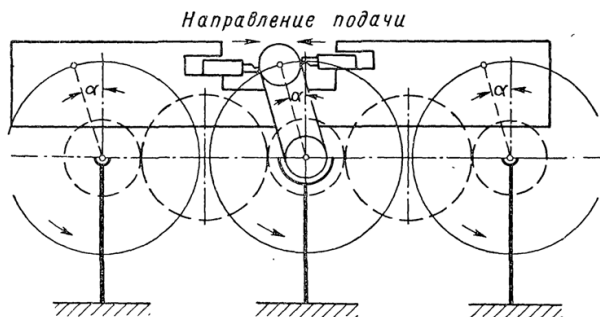


Рис. 37. Схема движений суппортов на токарном многолезцовом станке для одновременного обтачивания всех шатунных шеек коленчатых валов

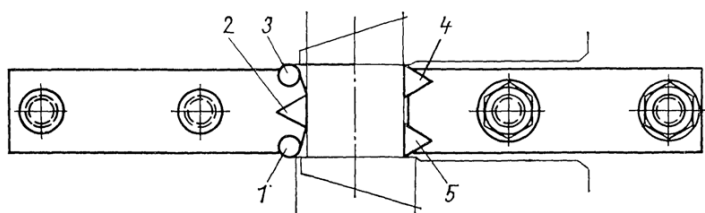


Рис. 38. Резцы для обточки шеек

В резцедержателе переднего суппорта установлено два быстрорезных столбиковых резца *1* и *3* для окончательного подрезания торцов и протачивания радиусных галтелей. В центральной части резцедержателей находится аналогичный резцу заднего суппорта призматический треугольный резец *2* для обтачивания средней цилиндрической поверхности шейки. При этом выдерживается диаметральный допуск шейки в пределах 4-го класса точности и допуск на ширину шейки в пределах 3 класса.

После подрезания торцов резцами заднего суппорта для чистового протачивания торцов остается припуск, примерно равный 2 мм.

В последние годы за рубежом получает применение обработка шеек, щек и галтелей методом ротационного фрезерования (рис. 39).

Такое фрезерование характеризуется небольшими скоростями вращения заготовки, высокими скоростями вращения инструмента и большим съемом металла в единицу времени. Обрабатываемая заготовка вращается со скоростью, равной скорости круговой подачи.

Условия резания при ротационном фрезеровании более благоприятны, чем при точении. При фрезеровании скорость резания не зависит от конфигурации, размеров, а главное, от степени уравновешенности заготовки.

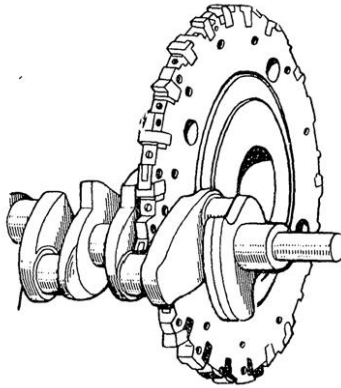


Рис. 39. Ротационное фрезерование шатунной шейки заготовки коленчатого вала

Шейки стальных заготовок коленчатых валов шлифуют предварительно до термической обработки и окончательно – после нее.

Припуски на шлифование шеек, щек и галтелей заготовок коленчатых валов длиной 600...800 мм с диаметром шеек 65...80 мм находятся в пределах 0,3...0,5 мм на сторону до термической обработки и немного менее после термической обработки.

При поточном производстве коренные шейки обычно шлифуют врезанием на однокаменных круглошлифовальных станках, а при автоматизированном производстве – на многокаменных станках.

Большинство станков работает по полуавтоматическому циклу. На станках установлены контрольно-измерительные приборы (скобы с индикаторами) для контроля размеров шеек в процессе шлифования.

Шатунные шейки стальных валов до термической обработки также шлифуют методом врезания на круглошлифовальных станках. Заготовки устанавливают в специальных патронах, базируют и зажимают их по крайним коренным шейкам и упирают в торец галтели первой коренной шейки. Угловое ориентирование производят по установочным платикам на крайних щеках или шпилькой по отверстию во фланце (рис. 40).

После термической обработки коренные шейки шлифуют (2 раза) методом врезания кругами разной зернистости. Заготовки устанавливают в центрах и поддерживают люнетами.

В некоторых случаях при предварительном шлифовании шеек одновременно шлифуют и галтели.

В большинстве случаев станки для окончательного шлифования оснащают приборами активного контроля и автоматического управления циклом работы.

Шатунные шейки валов после термической обработки шлифуют также предварительно и окончательно. Заготовки на станках устанавливают так же, как и при шлифовании до термической обработки.

Высокопроизводительным шлифованием шатунных шеек до термической обработки является одновременное шлифование двух шеек, попарно расположенных на одной оси, методом врезания на двухкамневых станках. После термической обработки каждую шейку окончательно шлифуют отдельно методом врезания.

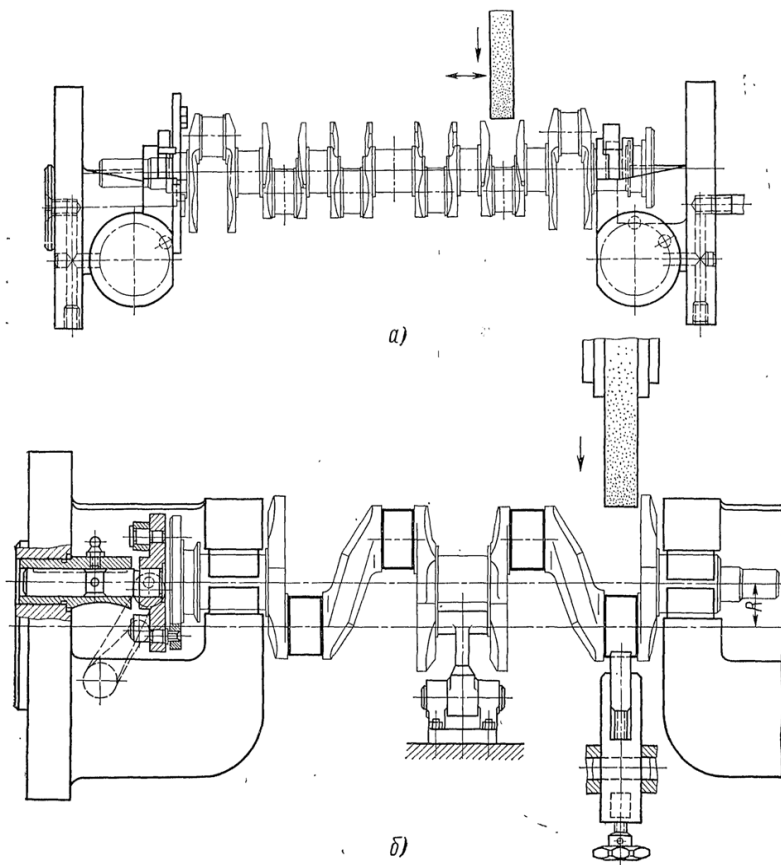


Рис. 40. Схемы установки коленчатых валов для шлифования шатунных шеек:

а – при угловом базировании по фрезерованным площадкам на крайних щеках;

б – при угловом базировании вала по отверстию во фланце

При крупносерийном и массовом производстве коренные и шатунные шейки до термической обработки и после нее часто шлифуют на автоматических линиях.

На рисунке 41 показана часть автоматической линии для шлифования коренных шеек, переднего конца и фланца коленчатого вала, состоящая из трех станков (на рисунке показаны только два станка). Между станками установлены накопители. Транспортирование заготовок от накопителей к станкам осуществляется подвесными автооператорами по траверсе при помощи гидропривода пневмоподъемников, имеющих захваты.

После числового шлифования шейки подвергаются отделочной обработке для получения высокой чистоты рабочих поверхностей. Отделочными операциями являются, главным образом, суперфиниширование, полирование и микрофиниширование.

Суперфиниширование шеек осуществляют головками с абразивными брусками (рис. 42), которые устанавливают в суппортах станка. Движением суппортов управляют два копирных коленчатых вала, вращающихся синхронно с обрабатываемой заготовкой. Процесс проводится при давлении бруска на шейку заготовки с усилием 10...15 кГ. Смазывающе-охлаждающей жидкостью служит смесь керосина и турбинного масла.

Станок работает по полуавтоматическому циклу: автоматически поднимаются суппорты с инструментами, выключаются рабочие и вспомогательные движения после окончания чистового суперфиниширования, а также включается подача охлаждающей жидкости и одновременно включается вращение заготовки.

Заготовка на станке устанавливается в центрах и поджимается центром задней бабки. В этой операции используются также лонеты с роликами. Поводком служит палец, фиксирующий отверстие во фланце.

Для суперфиниширования обычно применяют бруски сечением 20×20 мм из белого электрокорунда. Для предварительного суперфиниширования применяют бруски твердостью 83...88 и зернистостью 500, для окончательного соответственно 77...82 и 600. Чистота поверхности после суперфиниширования соответствует 10 – 13-му классам.

Полируют шейки полотняной или бумажной лентой на специальных полировальных станках. Полирование проводят за одну операцию, но иногда и за две операции. При этом шейки предварительно полируют лентой с абразивным порошком зернистостью 180...240 и окончательно лентой с абразивным порошком зернистостью 240...300. Абразивные зерна, осыпающиеся с ленты, и мелкая стружка в процессе полирования смываются керосином, которым обильно поливают заготовку.

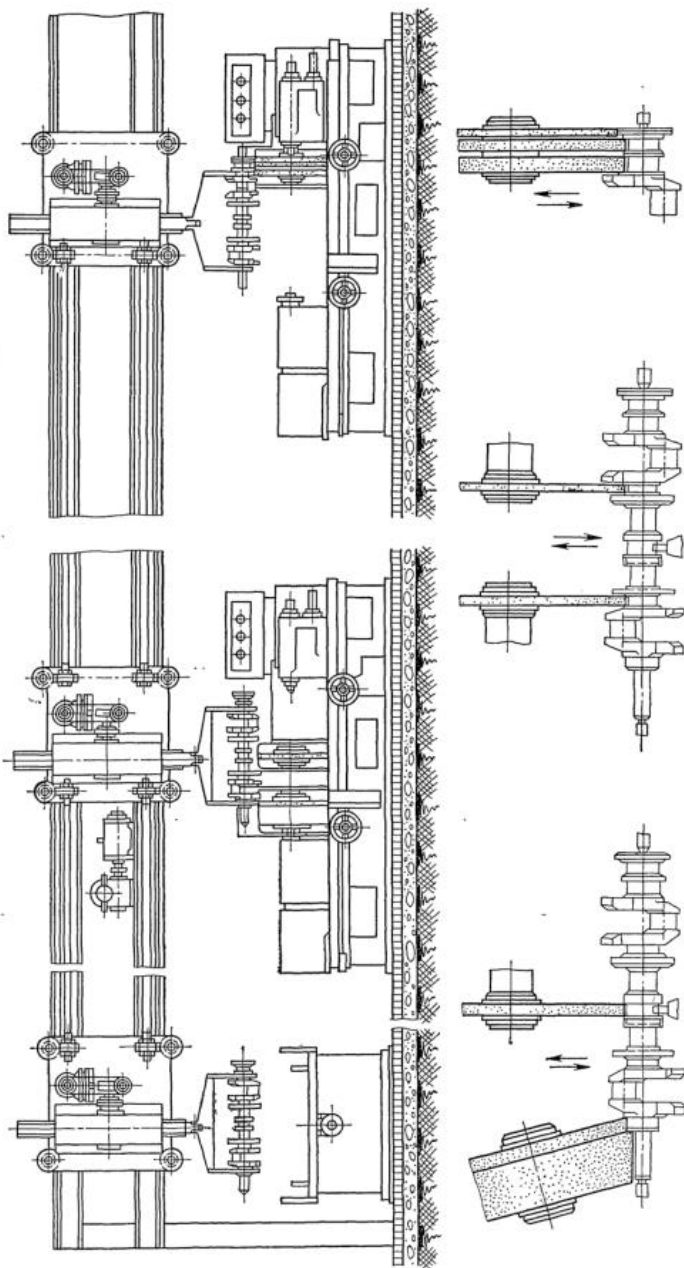


Рис. 41. Часть автоматической линии с круглошлифовальными станками для шлифования коренных шеек коленчатого вала. Внизу показаны эскизы операций

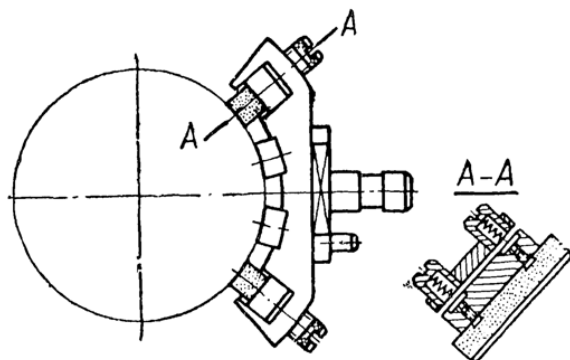


Рис. 42. Головка для суперфиниширования шеек коленчатого вала

Для полирования заготовку устанавливают в центрах. Поводком служит палец, который вводят в одно из отверстий фланца. Коренные и шатунные шейки полируют одновременно, т.е. число полировальных суппортов на станке равно числу шеек вала. Станок работает обычно по автоматическому циклу.

При полировании снимают припуск, равный $0,010 \dots 0,015$ мм. Полирование абразивной лентой ведется при скорости $v = 15 \dots 20$ мм/мин и при числе оборотов $n = 100 \dots 150$ в минуту. Высота неровностей после предварительного полирования шеек должна соответствовать 8-му классу чистоты, а после окончательного 9–10-му классам чистоты.

Продолжительность полирования шеек колеблется в пределах $3 \dots 5$ мин.

В последние годы при окончательной обработке шатунных и коренных шеек применяют новый метод – микрофиниширование, осуществляемый брусками.

Для обработки шеек методом микрофиниширования созданы специальные станки, которые обеспечивают согласование в процессе обработки следующих параметров процесса: частоты, амплитуды колебания и направления движения брусков, удельного давления брусков на обрабатываемую поверхность и окружной скорости обрабатываемой поверхности. Благодаря сочетанию движения брусков в разных направлениях и вращению детали следы обработки перекрещиваются и это повышает чистоту поверхности.

Процесс микрофиниширования проводится при незначительных давлениях бруска на обрабатываемую поверхность, равных $1,4 \dots 3,0$ кг/см², с частотой колебаний $500 \dots 1500$ в минуту и амплитудой 3,5 мм. Окружная скорость вращения обрабатываемых поверхностей равна $8 \dots 40$ м/мин. При микрофинишировании снимается при-

пуск 0,012...0,015 мм на сторону. Для смывания с заготовки отходов, получаемых в процессе обработки, используют состав, состоящий из 10...20% минерального масла и 80...90% керосина.

Благодаря сочетанию нескольких движений бруска при обработке детали имеют поверхностный контакт (а не линейный, как при шлифовании), что уменьшает возможность возникновения высоких температур в процессе отделки поверхности и, следовательно, улучшает качество обрабатываемой поверхности.

Микрофиниширование улучшает геометрическую точность, чистоту и качество поверхностного слоя (высота неровностей с 4 мкм уменьшается до 0,2 мкм).

Во время обработки способом микрофиниширования скорость вращения заготовки изменяется: в начальный момент при наибольшем съеме припуска скорость меньше, а затем она увеличивается, что позволяет повысить чистоту обработки. Коленчатые валы на станках устанавливают в центрах и люнетах и вращают с числом оборотов $n = 40...60$ в минуту. Осциллирование проводится при 50...120 дв. ход. в минуту.

Микрофиниширование шатунных или коренных шеек выполняется одновременно четырьмя-шестью головками (в зависимости от числа коренных или шатунных шеек); продолжительность микрофиниширования шести шатунных шеек диаметром 40...60 мм, длиной 30...45 мм равна приблизительно 2,0 мин.

Таким же методом окончательно обрабатывают и шейки распределительных валов.

Для повышения усталостной прочности сильно нагруженных коленчатых валов применяют их поверхностное упрочнение.

Упрочнению подвергают поверхности, в которых наблюдается концентрация возникающих напряжений. В стальных коленчатых валах такими местами являются галтели шеек.

В большинстве случаев галтели обкатывают роликовыми или шариковыми накатками. Процесс обкатывания в автотракторостроении находится еще в начальной стадии промышленного применения. После обкатывания галтелей чистота поверхности повышается примерно на два класса: с 7 до 9 – 10-го. При обкатывании с усилием около 1000 кГ твердость поверхностного слоя увеличивается примерно на 20...30%, а предел усталости при изгибе повышается на 50...53%. Глубина слоя, деформируемого при обкатывании галтелей, достигает 0,13 мм и на глубине 0,03 мм наблюдается большая степень измельчения структурных составляющих металла.

Для обкатывания шеек и галтелей созданы специальные обкатные станки, работающие по полуавтоматическому циклу. Галтели каждой шейки обкатываются двумя роликами. Рабочие ролики имеют специ-

альную форму для исключения боковой развальцовки шеек в процессе обработки.

В начале процесса обкатки галтелей накатные ролики прижимаются к обрабатываемой поверхности с незначительным усилием, а затем усилие обкатки постепенно увеличивается до максимума (примерно до 1600 кГ). После десяти оборотов усилие обкатки постепенно уменьшается и доходит до минимума.

Благодаря обкатке упрочняются галтели, в опасном сечении уменьшается концентрация напряжений и развальцовываются поверхностные микротрещины, возникающие при обработке резанием.

Обработка отверстий и шпоночных пазов. В шатунных шейках необходимо обрабатывать наклонные маслопроводные каналы диаметром 6...10 мм, длиной 100...220 мм, а в коренных шейках маслопроводные отверстия диаметром 7...10 мм, длиной 25...40 мм. Во фланце обрабатывают обычно 4...6 крепежных отверстий диаметром 14...16 мм. Со стороны фланца в торце вала обрабатывается (по 2-му классу точности) посадочное отверстие под подшипник диаметром 30...50 мм, длиной 40...70 мм, а в переднем конце вала сверлится, зенкуется и нарезается резьба под крепление маховика. На переднем конце вала обрабатывают также шпоночные пазы под шпонки ведущей шестерни распределения и шкива вентилятора.

Отверстия во фланце обычно сверлят и развертывают.

При крупносерийном и массовом производстве для этих целей широко применяют двусторонние многопозиционные агрегатные станки барабанного типа. Эскиз наладки четырехпозиционного станка показан на рис. 43.

У коленчатого вала отверстия под маслопроводные каналы обрабатывают на двусторонних многошпиндельных горизонтально-сверлильных станках, оснащенных стационарными приспособлениями (рис. 44).

Маслопроводные каналы иногда обрабатывают на станках, встраиваемых в автоматические линии.

В коленчатых валах некоторых конструкций автотракторных двигателей в щеках и шатунных шейках обрабатывают полости для выхода маслопроводных каналов. Полости и отверстия под резьбовые пробки обрабатывают под углом 85° на горизонтальных (сверлильном и резьбонарезном) агрегатных станках. На первом станке (рис. 54) отверстия сверлятся, на втором станке нарезается резьба под заглушки.

Отверстие в заднем торце вала под шарикоподшипник зенкеруется и развертывается так, чтобы оставался припуск для тонкого растачивания. Пазы под шпонки обрабатывают на специализированных одно- или двухшпиндельных горизонтально-фрезерных станках.

Заготовки устанавливают на две призмы по крайним коренным шейкам и упирают в привалочный торец шестерни или в торец средней коренной шейки.

При крупносерийном и массовом производстве отверстия, масляные каналы и шпоночные пазы часто обрабатывают на автоматических линиях.

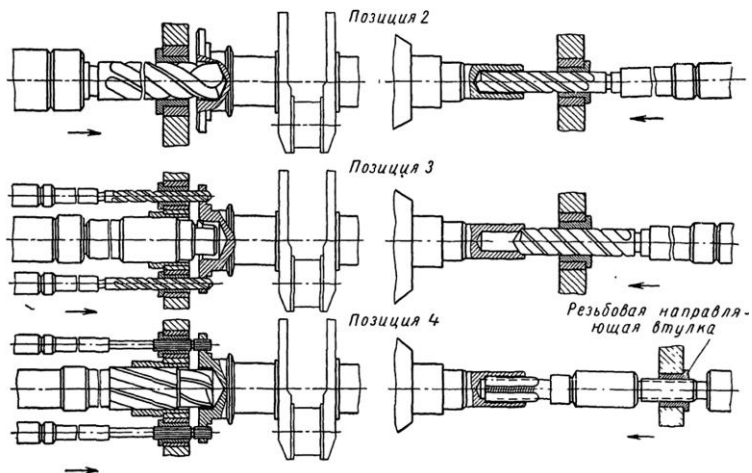


Рис. 43. Эскиз наладки двустороннего сверлильного агрегатного станка с четырехпозиционным барабанным приспособлением для обработки отверстий в переднем и заднем концах коленчатого вала

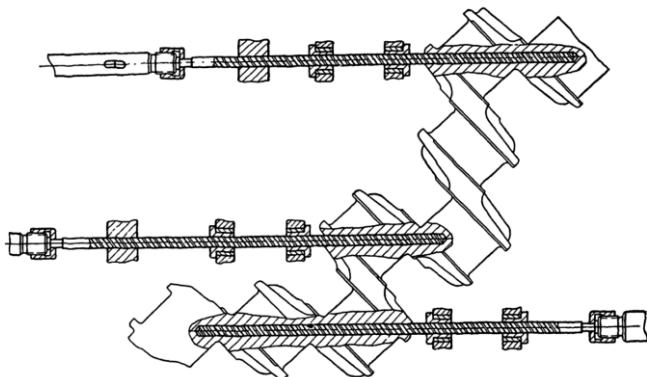


Рис. 44. Схема одновременного сверления отверстий в шатунных шейках коленчатого вала

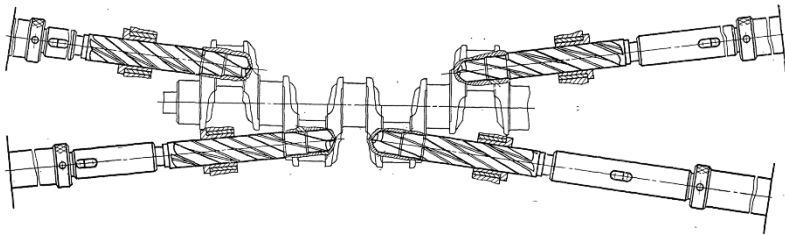


Рис. 45. Сверление полостей в шатунных шейках коленчатого вала

Так, для обработки отверстий и шпоночных пазов у заготовки коленчатого вала тракторного четырехцилиндрового двигателя применена автоматическая линия, на 29 рабочих позициях которой обрабатываются наклонные, горизонтальные и вертикальные маслопроводные каналы, крепежные отверстия во фланце, отверстия под подшипник и шпоночные пазы. На линию заготовка поступает с предварительно обработанными шейками и с припуском для окончательного шлифования. Заготовка устанавливается в приспособлениях по коренным шейкам. На линии используются два типа приспособлений: на первых трех станках линии заготовка зажимается в призмах, устанавливаясь так, чтобы шатунные шейки располагались горизонтально; на последующих шести станках линии (с четвертого по девятый) заготовка в угловом положении фиксируется тремя методами:

1) базовая шатунная шейка зажимается в неподвижной призме, а шейка, расположенная под углом 180° к базовой, поджимается пружинным упором (применяется при расположении шатунных шеек по отношению к горизонтальной плоскости под углом 25°);

2) заготовка устанавливается с помощью фиксатора, входящего в ранее обработанное отверстие соответствующей шатунной шейки (применяется при расположении шатунных шеек по отношению к горизонтальной плоскости под углом более 25°);

3) заготовка устанавливается в призмах, которые поджимаются гидравлическим цилиндром (применяется при расположении шатунных шеек в вертикальной плоскости).

Заготовки перемещаются на линии горизонтальным шаговым транспортером с собачками, который движется по неподвижным планкам. На эти планки вал опирается коренными шейками.

При транспортировании между четвертым и девятым станками заготовка поворачивается вокруг продольной оси с тем, чтобы подвести к сверлу ту или иную шейку.

Станки для сверления и фрезерования имеют стандартные силовые головки.

Головки, используемые для сверления глубоких каналов, оснащены автоматически действующими механизмами для многократного вывода сверл из отверстий и предохранительными устройствами для отвода сверл при перегрузке.

По стойкости, т.е. по количеству заготовок, которые один инструмент может обработать без подналадки, инструмент разбивают на четыре группы: Первая – инструмент со стойкостью не менее 240 заготовок; вторая – не менее 480; третья – не менее 960; четвертая – не менее 2400 заготовок.

Для увеличения стойкости инструмента, работающего на линии, несколько занижают режимы резания против обычно применяемых. При нарезании резьбы и фрезеровании шпоночных пазов режимы резания занижают примерно на 30%, на остальных операциях – примерно на 10%. Замена инструмента на линии бесподналадочная, инструмент взаимозаменяемый. Инструмент настраивают вне линии по приборам и эталонам. Отличительной особенностью линии является равномерность загрузки станков по времени на всех операциях. Это обеспечивается разбивкой лимитирующих операций на несколько позиций. Так, глубокие маслопроводные каналы обрабатывают на трех позициях. Максимальная глубина сверления каналов на одной позиции не превышает 40 мм. Производительность линии 60 валов в час.

На рисунке 46 показано приспособление для закрепления колеччатого вала при сверлении масляных каналов, применяемое на автоматической линии. На линии вал перемещается коренными шейками по направляющим 1 и 2; в рабочем положении вал зажимается центрами 4 и 13, ось которых расположена немного выше оси вала. Центры приводятся в движение двуплечими рычагами 5 и 12 от гидропривода и при сближении, по мере входа вала в центровые отверстия 3 и 14, приподнимают его над направляющими 1 и 2 и зажимают.

Смазочные отверстия сверлятся длинными сверлами 6 и 11, которые направляются кондукторными втулками 7 и 10, смонтированными на специальных кронштейнах 8 и 9.

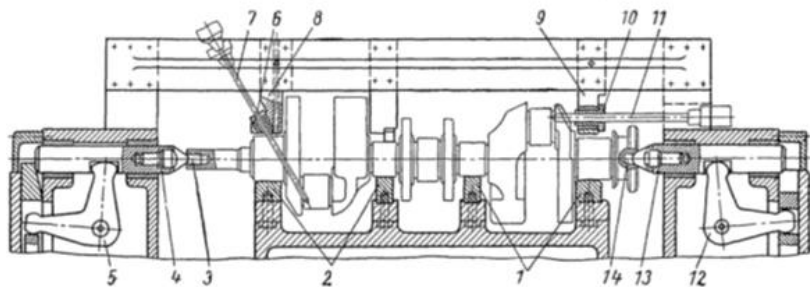


Рис. 46. Приспособление для сверления маслопроводных каналов

3.5. БАЛАНСИРОВАНИЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Коленчатые валы в сборе с противовесами подвергают балансированию, при котором определяют и устраняют неуравновешенность сил инерции вращающихся масс.

Силы инерции вращающихся масс уравниваются таким размещением масс кривошипов, при котором:

1) центр тяжести приведенной системы вала лежит на оси вращения вала;

2) сумма моментов центробежных сил вращающихся масс относительно оси вала равна нулю.

При совпадении центра тяжести приведенной системы вала с его осью вращения обеспечивается статическая уравновешенность, которая может быть определена из уравнения

$$P = mra^2 = \frac{\sigma}{g} r\omega^2,$$

где σ – масса вала в кг; r – смещение центра тяжести относительно оси вращения вала в мм; ω – угловая скорость вращения вала в 1/с; g – ускорение силы тяжести в м/с².

Практически статическую уравновешенность определяют при установке вала на призмах.

В тех случаях, когда сумма моментов центробежных сил вращающихся масс относительно любой точки оси вала равна нулю, обеспечивается динамическая уравновешенность, которая определяется, исходя из момента пары центробежных сил, действующих в осевой плоскости вала

$$M = \frac{\sigma}{2g} rz\omega^2, \text{ кГм},$$

где σ – масса вала в кг; r – смещение центра тяжести относительно оси вращения вала в мм; z – плечо пары центробежных сил в м; ω – угловая скорость вращения вала в 1/с; g – ускорение силы тяжести в м/с².

Практически динамическая уравновешенность определяется при вращении вала, установленного на специальном балансировочном станке. Статическая и динамическая неуравновешенности проявляются в виде силовых факторов.

В настоящее время на специализированных балансировочных станках проверяется только динамическая неуравновешенность коленчатых валов.

В результате балансирования устраняется начальная неуравновешенность, величина которой может достигать 300...1000 Г·см. Конечная неуравновешенность у большинства коленчатых валов, работающих при $n = 1300...2000$ об/мин, не должна превышать 30...70 Г·см, а у валов, работающих при $n = 3200...5000$ об/мин, – 15...20 Г·см.

Неуравновешенность коленчатого вала устраняется снятием металла с фиксированных техническими условиями мест. Эти места задаются четко ограниченными зонами.

Конструкциями валов автотракторных двигателей предусматривается высверливание в противовесах отверстий диаметром до 28 мм на глубину до 45 мм и в щеках – отверстий диаметром до 25 мм на глубину до 45 мм. В тех случаях, когда для устранения неуравновешенности в каждом фиксированном месте требуется высверлить более 2–3 отверстий, целесообразно применять фрезерование.

Конструкциями валов должны быть предусмотрены две плоскости исправления (коррекции), которые имели бы достаточные припуски для удаления необходимого количества металла без нарушения прочности вала. Увеличение количества плоскостей коррекции нежелательно, так как это усложняет конструкцию балансировочного станка. Плоскости коррекции должны быть доступны для осевого и радиального высверливания.

При больших значениях начальной неуравновешенности балансирование вала повторяется несколько раз. За один цикл балансирования начальная неуравновешенность уменьшается в 2–3 раза, а иногда в 5 – 7 раз. Высверливание одного отверстия диаметром 10 мм на глубину 45 мм от поверхности противовеса радиусом 82 мм у четырехколенчатого вала длиной 780 мм устраняет неуравновешенность до 165 Г·см, а высверливание двух отверстий – до 480 Г·см. При начальной неуравновешенности свыше 500 Г·см применяют двукратное балансирование. Обычно двукратное балансирование применяют и при жестком допуске на несбалансированность порядка 15...20 Г·см.

Основной несбалансированности валов стремятся избежать еще при центровании необработанной заготовки. В этих случаях обработанные коленчатые валы подвергают лишь окончательному (обычно однократному) балансированию, не удаляя значительного количества металла, компенсирующего неуравновешенность, и сокращая трудоемкость этих операций.

На производствах со сравнительно небольшим выпуском величины и расположение неуравновешенности определяют на балансировочных станках и удаляют компенсирующий металл на сверлильных или фрезерных станках. При крупносерийном и массовом производстве для балансирования применяют специализированные агрегаты – комбайны, совмещающие эти две операции в одном автоматическом цикле.

Так, на двухпозиционных агрегатах фирмы Шенк неуравновешенность определяется при вращении вала с $n = 3000$ об/мин. На первой позиции измеряется величина неуравновешенности в двух плоскостях коррекции вала. На второй позиции вал автоматически устанавливается в необходимое положение относительно двух сверлильных головок, которые по автоматическому циклу высверливают излишний металл на глубину, задаваемую командами, полученными от измерительного устройства первой позиции агрегата. Одна сверлильная головка расположена вертикально, другая – горизонтально.

В таблице 8 указана производительность и точность балансировки четырех коленчатых валов на станках, выпущенных отечественными и зарубежными фирмами.

Таблица 8

Марка станка	Неуравновешенность в Г·см		Производительность в шт./мин	Рабочее число оборотов в мин
	начальная	конечная		
9722 (ЭНИМС)	1200	30	7	600
МА-23 (ЭНИМС)	1500	20	6	600
МА-21 (ЭНИМС)	1000	20	6	600
Ольсен	800	20	5	600
Шенк	600	30	2...3	3000
Гишольт	500	30	1,5...2,0	600

3.6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО БАЛАНСИРОВАНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Автоматические линии для динамического балансирования коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей, обеспечивающие высокую точность балансировки, рассчитаны на балансирование 400...600 коленчатых валов в смену.

Величина дисбаланса определяется на автоматическом балансировочном станке, имеющем две опоры для вала, каждая из которых включает:

- 1) люльку с вкладышем, свободно подвешенную на лентах и качающуюся в горизонтальной плоскости;
- 2) датчик, преобразующий колебания люлек в электрический ток с частотой, отвечающей скорости вращения детали, и амплитудой, и фазой, пропорциональными неуравновешенности.

Коленчатый вал V-образного восьмицилиндрового двигателя, имеющий исходный дисбаланс до 1500 Г·см при допустимом дисбалансе не более 30 Г·см, балансируется на линии дважды. Балансировочная линия состоит из трех участков – двух технологических и одного контрольного. В каждый технологический участок входит по три автомата – один балансировочный и два сверлильных. На контрольном участке установлен контрольный автомат, который проверяет балансировку коленчатого вала и при недостаточной его сбалансированности указывает, какой именно из агрегатов не выполнил своей функции.

Коленчатый вал двигателя имеет шесть противовесов, по три с каждой стороны вала. При предварительной балансировке для уравнивания используются крайние противовесы, в каждом из которых высверливается по два отверстия диаметром 20 мм. При окончательном уравнивании используются четыре средних более тонких противовеса, в которых высверливается по два отверстия диаметром 12 мм. Места и глубина сверлений задаются балансировочным автоматом.

Если два негодных вала следуют один за другим, контрольный автомат останавливает всю линию; при этом зажигается световой сигнал, отмечающий, с какой стороны детали неуровновешенность оказалась выше нормы.

Коленчатые валы V-образных двигателей при балансировке должны уравниваться дополнительными грузами, которые навешиваются на шатунные шейки, имитирующие массу шатунов.

3.7. КОНТРОЛЬ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Коленчатые валы неоднократно проверяют в процессе их изготовления после наиболее ответственных операций.

В механическом цехе обычно перед обработкой заготовки проверяют правильность положения фланца (перпендикулярность его к осям

шеек) и соосность шеек с заготовкой вала. Эту операцию осуществляют, пользуясь приспособлением, имеющим установочные призмы и шаблоны. После этой операции контролируют правку заготовки.

При окончательном контроле коленчатых валов обычно проверяют:

- 1) диаметры шеек, фланца и конца вала;
- 2) биение шеек и торцов фланца относительно крайних коренных шеек;
- 3) длину коренных и шатунных шеек, взаимное их расположение по длине между собой, их расстояние от базового торца и толщину фланца;
- 4) угловое расположение всех кривошипов;
- 5) радиус кривошипа;
- 6) расположение осей установочных отверстий относительно оси первой коренной шейки;
- 7) размеры и положение оси шпоночной канавки от плоскости первой шатунной шейки;
- 8) диаметр отверстия под подшипник, в фланце и его биение относительно торца фланца или задней коренной шейки;
- 9) резьбу под посадку маховика.

В заключение осматривают наружную поверхность с целью обнаружения на шейках царапин, трещин, заусенцев и т.п. и проверяют наличие клейм.

Для измерения диаметров шеек применяют скобы с микроиндикаторами, индикаторные приспособления или пневматические скобы. На рисунке 47 показано комбинированное приспособление, которым окончательно контролируют линейные размеры вала, радиус кривошипа, положение установочного отверстия и шпонки. Для контроля линейных размеров вала установлены упоры 1, для контроля радиуса кривошипа – устройства 2.

На рисунке 48 изображена схема прибора, который контролирует перекося (непараллельность) шатунной шейки относительно коренных шеек. Два верхних индикатора 1 и 2 указывают величину перекося в плоскости расположения осей шеек, а упор 3 и индикатор 4 – в плоскости, перпендикулярной к осям шеек.

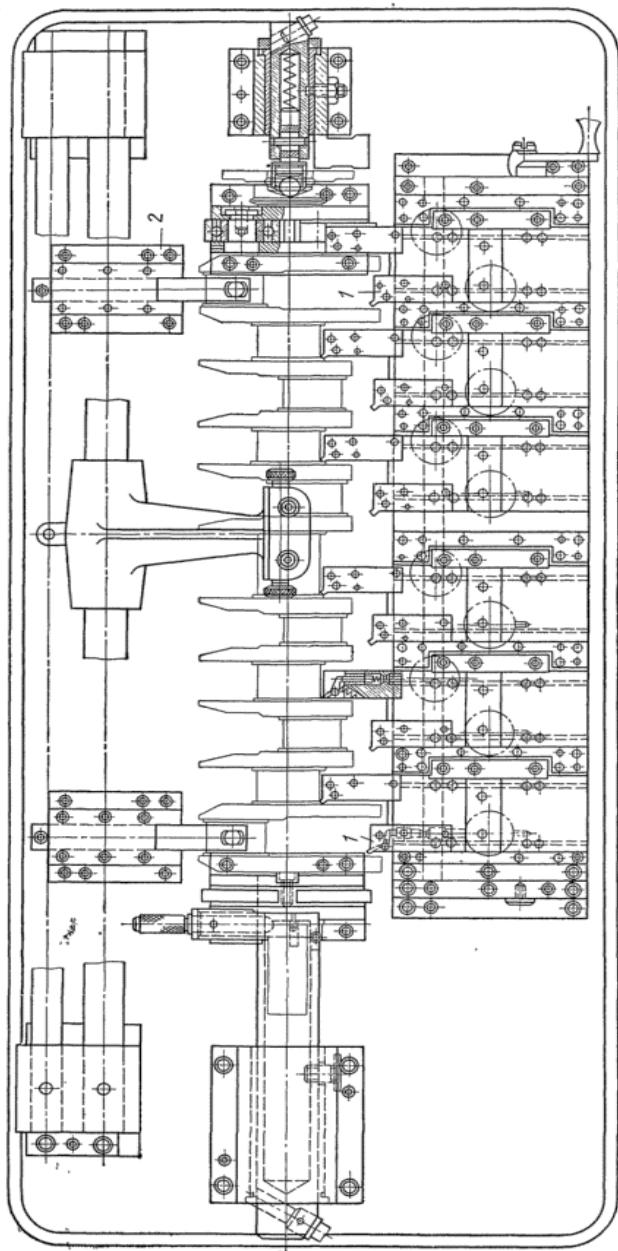


Рис. 47. Приспособление для контроля основных размеров коленчатого вала

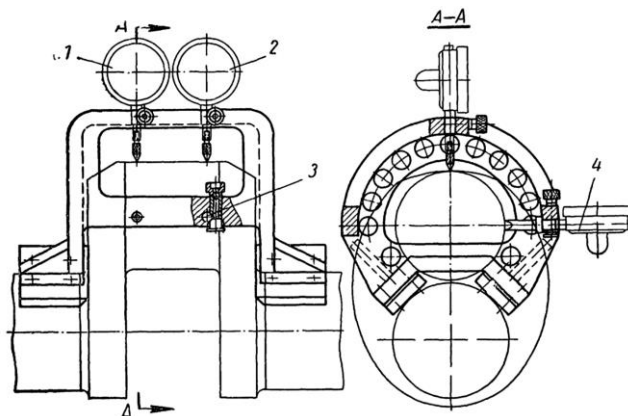


Рис. 48. Приспособление для проверки смещения оси шатунных шеек относительно оси коренных шеек

Таблица 9

№	Операция	Оборудование	Технологические базы
1	Фрезерование торцов, центрование вала с двух сторон, фрезерование установочных площадок	Четырехпозиционный агрегатный станок	Крайние коренные шейки с упором в образующие поверхности первой шатунной шейки
2	Обтачивание всех коренных шеек, торцов и галтелей, шеек ступенчатого конца вала, фланца и шейки под сальник	Автоматическая линия, состоящая из трех- суппортного токарного автомата и токарного двухпозиционного автомата	Центра и упор в торец ступенчатого конца вала
3	Обтачивание всех шатунных шеек, торцов и галтелей	То же	Крайние коренные шейки и установочные пластики на крайних щеках
4	Предварительное шлифование двух шеек на ступенчатом конце вала и опорного торца. Одновременное шлифование всех коренных шеек, торцов и галтелей	Автоматическая линия, состоящая из круглошлифовального автомата с кругом под углом и круглошлифовального автомата с несколькими кругами	Центровые отверстия

№	Операция	Оборудование	Технологические базы
5	Врезное шлифование всех шатунных шеек (каждая шейка шлифуется последовательно)	Автоматическая линия, состоящая из круглошлифовальных станков (по числу шатунных шеек)	Крайние коренные шейки, опорный торец коренной шейки и установочные площадки
6	Сверление масляных каналов и снятие фасок в отверстиях с двух сторон	Восьмипозиционная автоматическая линия, состоящая из агрегатных головок	Крайние коренные шейки с упором в торец первой шатунной шейки
7	Нарезание вихревых каналов на шейке под сальник	Специальный токарный станок	Центровые отверстия
8	Контроль основных параметров	Многоместный пневматический контрольный прибор	—
9	Чистовое шлифование двух шеек на ступенчатом конце вала и опорного торца, шлифование (одно-временное) всех коренных шеек, торцов и галтелей, шлифование шейки под сальник и наружного диаметра фланца	Автоматическая линия, состоящая из круглошлифовального автомата с кругом, расположенным под углом, круглошлифовального автомата с несколькими кругами и круглошлифовального автомата для шлифования сальника и наружного диаметра фланца	Центровые отверстия

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАТУНОВ

4.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ШАТУНОВ

Шатуны – тяжелонагруженные детали двигателей, испытывающие напряжения сжатия и продольного нагиба. Поэтому шатуны изготавливают из высококачественных сталей (40 (селект), 40P, 45P, 45 по ГОСТ 1050; 40Г, 45Г2, 40Х, 40ХН, 40ХФА, 40ХН2МА по ГОСТ 4543).

Стержни и периферические поверхности головок автомобильных и тракторных шатунов не подвергают механической обработке. Обрабатывают плоскости торцов обеих головок, плоскости стыка шатуна с крышкой, отверстия под втулку поршневого пальца, под вкладыши и под стяжные болты. Кроме того, обрабатывают смазочные отверстия, а также поверхности, которые служат вспомогательными базами для установки шатуна в приспособлениях при обработке.

В малую (поршневую) головку шатуна запрессовывают бронзовую втулку, которую затем точно растачивают. Большую (кривошипную) головку шатуна обрабатывают окончательно после соединения ее с крышкой, которая не взаимозаменяема ни у одного из современных двигателей ввиду высокой стоимости обеспечения этой взаимозаменяемости.

Чаще всего поверхность разъема большой головки шатуна перпендикулярна оси его стержня, но при сильно развитых по диаметру шатунных шейках коленчатого вала поверхность разъема большой головки шатуна делают косою под углом к оси стержня (чтобы обеспечить возможность прохождения шатуна через цилиндр двигателя).

У двигателей с линейными блоками на каждую шатунную шейку коленчатого вала помещают один шатун (рис. 49, в, з).

У двигателей с V-образным блоком на каждой шатунной шейке коленчатого вала помещают два шатуна, один из которых имеет вильчатую большую головку (рис. 49, а, б). Большая головка второго шатуна располагается внутри вильчатой головки другого.

В шатунах некоторых двигателей (главным образом дизелей) выверливают в стержне смазочный канал.

Технические требования к изготовлению шатунов регламентированы ГОСТом 53812–2010 (двигатели автомобильные).

При обработке шатунов требуется обеспечивать высокую точность посадочных поверхностей и их координации. Это касается главным образом отверстий в поршневой и кривошипной головках: несмотря на то, что отверстие во втулке поршневой головки обрабатывают по 1-му классу точности, шатуны после обработки сортируют

на 3–4 группы по диаметрам отверстий во втулке под палец поршня. Для обеспечения уравновешенности двигателя существенное значение имеет правильность положения центров тяжести у каждого шатуна и небольшие колебания в их абсолютных весах. Положение центра тяжести регламентируется заданными весами большой и малой головок.

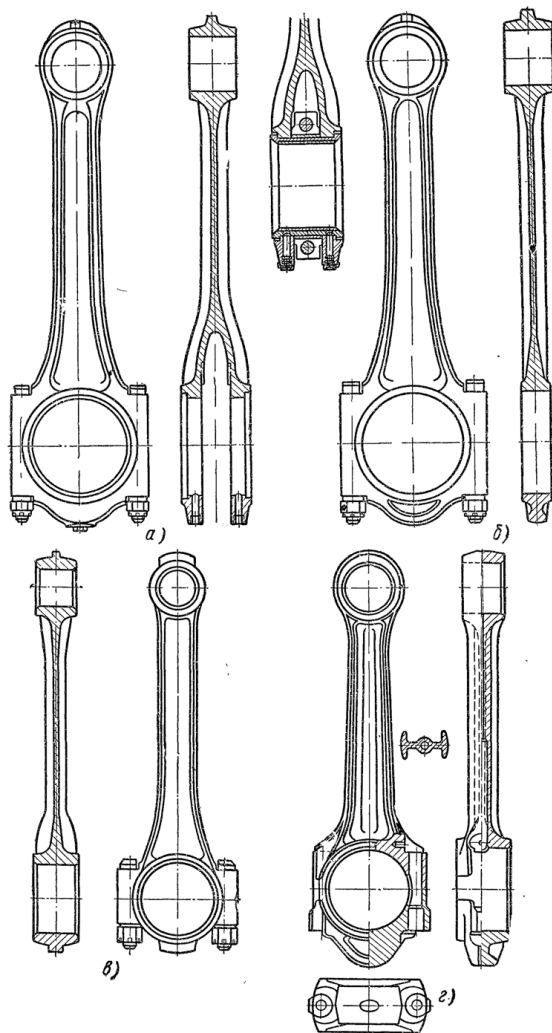


Рис. 49. Автомобильные (а – е) и тракторный (z) шатуны

4.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК ШАТУНОВ

Заготовки для шатунов изготавливают штамповкой в закрытых штампах. Для экономии металла, удешевления штамповки и повышения точности заготовок шатунов на некоторых заводах до окончательного формообразования заготовки в штампе на кривошипном прессе производят подготовку заготовки горячей вальцовкой металла на ковочных вальцах.

Шатуны и их крышки могут быть отштампованы порознь, как две отдельные детали (рис. 50, 51). Однако более распространено изготовление цельной заготовки шатуна совместно с крышкой (рис. 52). В последнем случае после частичной обработки заготовки от нее отрезают крышку, которую обрабатывают сначала отдельно, затем соединяют болтами с шатуном и обрабатывают совместно. При штамповке цельной заготовки (вместе с крышкой) расходуется несколько меньше металла. В этом случае для предварительной обработки поверхностей под вкладыш у раздельно кованных заготовок шатуна и крышки может быть применено наружное протягивание взамен растачивания, необходимого для образования цилиндрического отверстия в цельной заготовке. Кроме того, при изготовлении заготовок крышки и шатуна порознь отпадает необходимость в отрезке крышки от цельной заготовки. В последнем случае в заготовке отверстие имеет овальную форму, что предусмотрено с учетом удаления слоя металла при отрезке.

Характерный процесс изготовления заготовки шатуна следующий:

- 1) отрезка заготовок от прутка;
- 2) подкатка;
- 3) прокатка;
- 4) гибка;
- 5) штамповка;
- 6) обрезка облоя;
- 7) чеканка.

Далее производится термическая обработка заготовок, очистка от окалины в пескоструйном аппарате и чеканка на прессе.

Холодную чеканку производят обжатием плоскостей головок между параллельными плоскостями штампа на прессе. Этим повышается точность расстояния между торцами каждой головки, что важно для упрощения их последующей механической обработки.

Заготовки шатунов перед поступлением на механическую обработку подвергают контролю форм и размеров.

Приспособление для контроля кованой заготовки шатуна малолитражного автомобиля показано на рис. 53. На нем контролируют положение плоскостей малой головки относительно большой и проверяют прямолинейность стержня шатуна. Последний помещают на опоры к 2, 4, к одной из которых он прижимается винтом 6. Размер Н проверяют по положению планки 7 с рычагом 8 относительно ступенчатого элемента 5. Рычаг 8 прижимается вместе с планкой 7 к торцу малой головки шатуна. Прямолинейность стержня шатуна определяется щупом по зазору между этим стержнем и планкой 3.

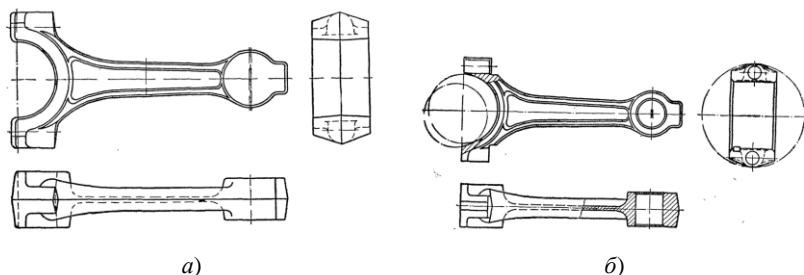


Рис. 50. Штампованная заготовка шатуна (а), готовый шатун (б)

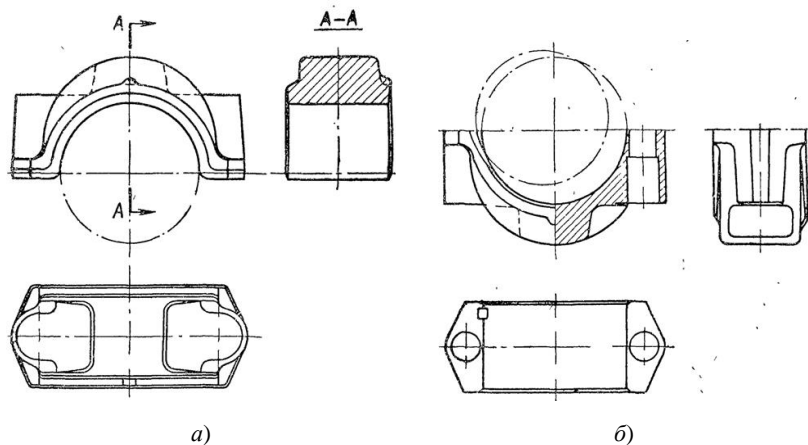


Рис. 51. Штампованная заготовка крышки (а) и готовая крышка (б)

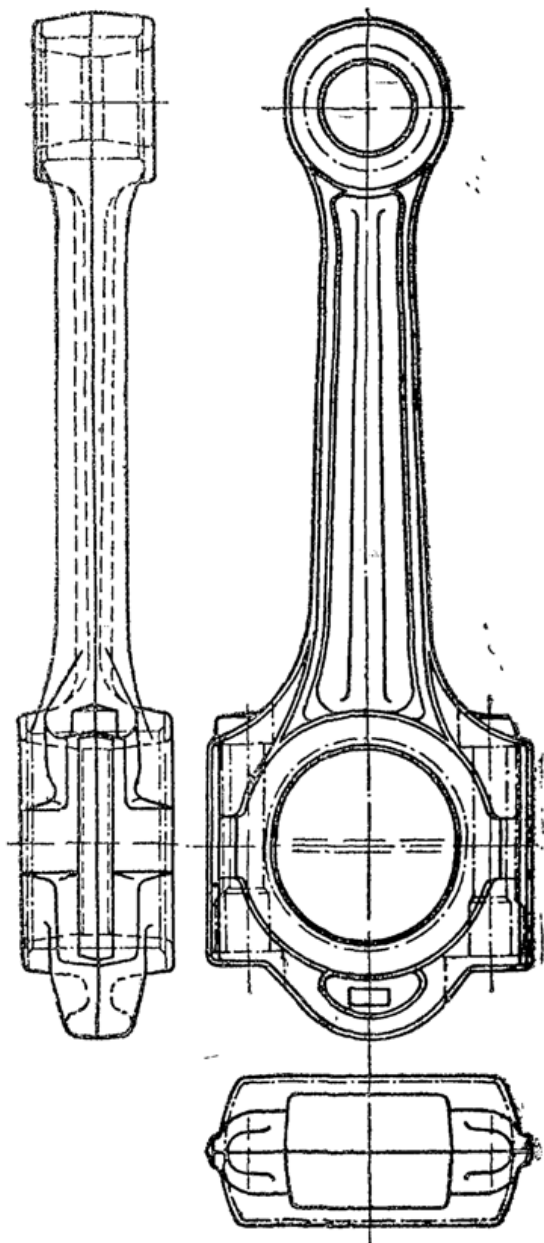


Рис. 52. Заготовка шатуна, штампованная заодно с крышкой

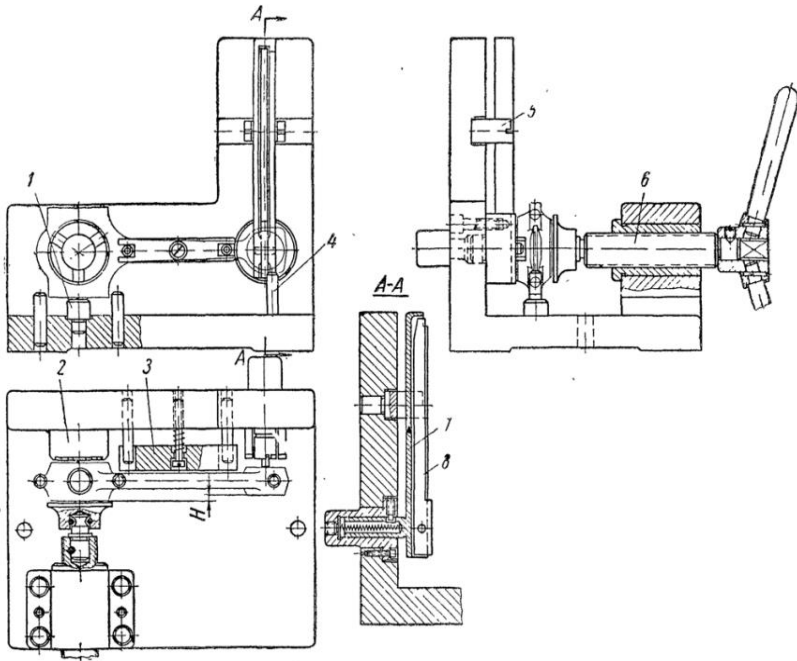


Рис. 53. Приспособление для контроля заготовки шатуна

4.3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ШАТУНОВ

Как и при обработке других деталей (у которых точно обрабатывают плоскости и отверстия) наиболее удобными установочными базами шатунов являются плоскости торцов головок и отверстие в одной из них.

Так как отверстие в кривошипной головке точно обрабатывают в конце технологического процесса, после соединения шатуна с крышкой, то на боковых поверхностях большой головки готовят вспомогательные базы в виде двух площадок на бобышках под стяжные болты (рис. 54). Кроме того, дополнительные вспомогательные базы часто создают обработкой площадок на специальных бобышках малых головок шатунов (рис. 55). Эти площадки используют, в частности, для базирования шатуна при обработке отверстия в малой головке.

Обработку цельных шатунов можно разделить на три этапа:

- 1) обработка до отрезки крышки большой головки;
- 2) обработка шатуна и крышки порознь;
- 3) обработка шатуна и крышки в сборе.

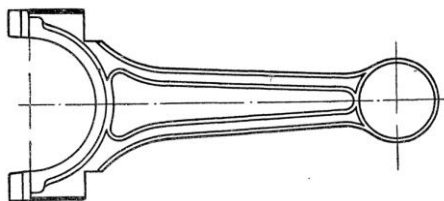


Рис. 54. Вспомогательные базы на кривошипной головке шатуна

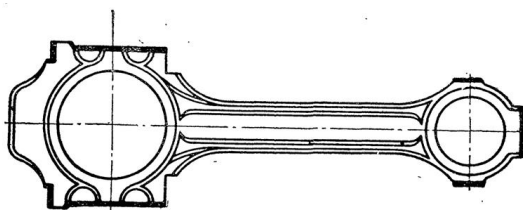


Рис. 55. Вспомогательные базы на кривошипной и поршневой головках шатуна

Ниже приведены схемы обработки шатунов на некоторых автомобильных и тракторных заводах, а в табл. 11 – технологический процесс обработки шатуна автомобильного двигателя.

11. Технологический процесс обработки шатуна автомобильного двигателя при выпуске 600 шт. в час (проект)

№	Содержание операции	Характеристика оборудования
1	Предварительно шлифовать боковые плоскости нижней и верхней головок шатуна с двух сторон последовательно	Вертикально-плоскошлифовальный станок с пятью шлифовальными шпинделями и круглым столом непрерывного действия
2	Протянуть боковые плоскости крышки одновременно	Вертикальный протяжной станок с автоматической загрузкой и выгрузкой деталей
3	Протянуть в шатуне и крышке боковые установочные площадки, площадки под головки болтов и площадки на компенсаторных бобышках, предназначенных для подгонки веса	Горизонтальный протяжной станок непрерывного действия туннельного типа с автоматическими выгрузкой и зажимом деталей
4	Протянуть в нижней головке шатуна плоскость стыка и полуцилиндрическую поверхность. Протянуть в крышке плоскости стыка и полуцилиндрическую поверхность	Вертикальный протяжной станок с двумя ползунами последовательного действия по автоматическому циклу

Продолжение табл. 11

№	Содержание операции	Характеристика оборудования
5	<p>Предварительно обработать отверстия под болты, отверстия верхней головки, фрезеровать паз под замок вкладыша и площадки под гайку в крышке; сверлить маслопроводное отверстие</p> <p><i>Позиция 1</i> Установка</p> <p><i>Позиция 2</i> Сверлить отверстия на проход под болты в шатуне и крышке раздельно</p> <p><i>Позиция 3</i> Сверлить отверстия под поршневой палец на проход и зенковать отверстия под болты с двух сторон</p> <p><i>Позиция 4</i> Фрезеровать паз под замок вкладыш</p>	<p>Обработка на автоматической линии, состоящей из семи рабочих позиций и двух для установки и выгрузки деталей</p> <p>Зажимное автоматическое устройство на восемь шатунов и восемь крышек</p> <p>Сверлильный двухсторонний станок с двумя силовыми головками</p> <p>Сверлильный двухсторонний станок с одной вертикальной силовой головкой и четырьмя горизонтальными малыми силовыми головками</p> <p>Фрезерный двухсторонний станок из двух или четырех силовых головок, расположенных вертикально и горизонтально</p>
5	<p><i>Позиция 5</i> Рассверлить отверстия под болты в крышке. Сверлить маслопроводное отверстие в нижней головке</p> <p><i>Позиция 6</i> Цековать площадку под гайки в крышке</p> <p><i>Позиции 7 и 8</i> Развернуть предварительно и окончательно отверстия под болты</p>	<p>Сверлильный двухсторонний станок с вертикальной 16-шпиндельной головкой</p> <p>То же</p> <p>Сверлильный двухсторонний станок с двумя 16-шпиндельными силовыми головками</p>
6	<p>Шлифовать плоскость соединения</p>	<p>Вертикальный плоскошлифовальный станок с тремя шлифовальными шпинделями и круглым столом непрерывного действия</p>
7	<p>Окончательно развернуть отверстия под болты совместно в шатуне и крышке, контроль этих отверстий и сбалчивание шатуна с крышкой</p>	<p>Специальный пятипозиционный станок с горизонтальным поворотным столом</p>
8	<p>Окончательно шлифовать боковые плоскости нижней головки последовательно</p>	<p>Оборудование то же, что и на шестой операции</p>

Продолжение табл. 11

№	Содержание операции	Характеристика оборудования
9	<p>Окончательно обработать отверстие верхней головни под втулку, получить расточить отверстие нижней головки, запрессовать и уплотнить втулки, сверлить маслопроводное отверстие</p> <p><i>Позиция 1</i> Установка</p> <p><i>Позиция 2</i> Расточить отверстие в нижней головке</p>	<p>Обработка на автоматической линии, состоящей из восьми рабочих позиций, одной контрольной и двух для установки и выгрузки деталей</p> <p>Зажимное автоматическое устройство на восемь шатунов</p> <p>Расточной односторонний стаяков с одной восьмишпиндельной силовой головкой</p>
9	<p><i>Позиция 3</i> Расточить фаски в отверстиях нижней головни с обеих сторон</p> <p><i>Позиция 4</i> Зенкеровать отверстия в верхней головке</p> <p><i>Позиция 5</i> Расточить фаски в отверстиях верхней головки с обеих сторон</p> <p><i>Позиция 6</i> Расточить отверстие под втулку</p> <p><i>Позиция 7</i> Проверить размер отверстия под втулку</p> <p><i>Позиция 8</i> Запрессовать втулки в отверстие верхней головки</p> <p><i>Позиция 9</i> Уплотнить втулки по внутренней поверхности</p> <p><i>Позиция 10</i> Расточить фаски о втулке с обеих сторон. Фрезеровать маслопроводную прорезь в верхней головке</p> <p><i>Позиция 11</i> Выгрузка</p>	<p>Сверлильный двухсторонний станок с двумя силовыми головками, расположенными в горизонтальном положении</p> <p>Сверлильный односторонний станок с одной восьмишпиндельной силовой головкой</p> <p>Сверлильный двухсторонний станок с двумя силовыми головками</p> <p>Расточной односторонний стаяков с одной восьмишпиндельной силовой головкой</p> <p>Контрольный автомат с восемью пневматическими калибрами</p> <p>Специальный восьмишпиндельный пресс с бункерной установкой для автоматической подачи втулок</p> <p>Специальный вертикальный станок с восемью шпинделями</p> <p>Сверлильно-фрезерный двухсторонний станок с двумя силовыми головками</p>

№	Содержание операции	Характеристика оборудования
10	Тонко расточить отверстие нижней головки. Тонко расточить отверстие во втулке верхней головки	Горизонтальный расточной станок с трехпозиционным поворотным столом и двумя трехшпиндельными силовыми головками
11	Подогнать по весу нижнюю и верхнюю головки	Специальный балансировочный двухшпиндельный двухсторонний станок с автоматическим циклом обработки для взвешивания и при ведения к заданному весу
12	Зачистить заусенцы в местах подгонки по весу	Специальная автоматизированная установка
13	Хонинговать отверстие в нижней головке	Вертикальный хонинговальный шестишпиндельный станок непрерывного действия
14	Промывка и просушка	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии изложено описание типовых технологических процессов изготовления деталей двигателей внутреннего сгорания машин, приведены схемы типовых маршрутов изготовления, схемы базирования, используемая технологическая оснастка.

Предназначено для студентов технических вузов специальностей 23.03.03, 23.04.03, 35.03.06, 35.04.06 всех форм обучения. Может быть полезно при изучении и подготовке к занятиям по дисциплинам: «Основы технологии производства и ремонта транспортно-технологических машин и оборудования», «Технология машиностроения», «Надежность и ремонт машин», «Технологические процессы восстановления деталей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Технология** автотракторостроения : учебное пособие / В. В. Сасов, В. И. Дементьев, М. П. Новиков, С. И. Абрамсон. – М. : Машиностроение, 1968. – 344 с.
2. **Технология** автотракторостроения / Д. Н. Маслов, Ф. В. Гурин, А. М. Кузнецов, А. М. Васильев. – М. : Машгиз, 1962. – 433 с.
3. **Гури, Ф. В.** Технология автотракторостроения : учебник для вузов / Ф. В. Гури, В. Д. Клепиков, В. В. Рейн – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1981. – 295 с.
4. **Технология** автомобилестроения : учебник для вузов / А. Л. Карунин, Е. Н. Бузник, О. А. Дашенко и др. ; под ред. А. И. Дашенко. – М. : Академический Проект: Трикта, 2005. – 624 с.
5. **Маталин, А. А.** Технология машиностроения : учебник / А. А. Маталин. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2008. – 512 с.
6. **Кожуро, Л. М.** Технология сельскохозяйственного машиностроения : курс лекций / Л. М. Кожуро. – Минск : Изд-во БГАТУ, 2001. – 414 с.
7. **Бузник, Е. Н.** Технология автотракторостроения : учебное пособие / Е. Н. Бузник ; Федеральное агентство по образованию, Московский гос. индустриальный ун-т, Ин-т дистанционного образования. – 2-е изд., стер. – М. : МГИУ, 2008. – 99 с.
8. **Технология** тракторостроения : учебник / А. В. Победин, А. Г. Схиртладзе, Ю. Н. Полянчиков и др. ; под ред. А. В. Победина ; ВолгГТУ. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 503 с.
9. **Старцев, А. В.** Из истории отечественного тракторостроения : монография / А. В. Старцев ; М-во сел. хоз-ва Российской Федерации, Департамент науч.-технологической политики и образования, ФГОУ ВПО «Челябинский гос. агроинженерный ун-т». – Челябинск : Челябинский гос. агроинженерный ун-т, 2007. – 236 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ БЛОКОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ...	4
1.1. Материал гильз	5
1.2. Способы изготовления заготовок	5
1.3. Механическая обработка заготовки гильз	6
1.4. Обработка гильз на автоматических линиях	16
1.5. Контроль гильз цилиндров	24
1.6. Термическая обработка гильз.....	26
2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ	27
2.1. Конструктивно-технологические особенности	27
2.2. Материал распределительных валов	28
2.3. Способы получения заготовок	29
2.4. Механическая обработка заготовок	33
2.5. Контроль распределительных валов	45
3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ	48
3.1. Конструктивно-технологические особенности	48
3.2. Материал коленчатых валов	51
3.3. Способы получения заготовок	53
3.4. Механическая обработка заготовок	58
3.5. Балансирование коленчатых валов	76
3.6. Автоматические линии для динамического балансирования коленчатых валов	78
3.7. Контроль коленчатых валов	79
4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАТУНОВ	84
4.1. Технологические особенности конструкций шатунов	84
4.2. Изготовление заготовок шатунов	86
4.3. Механическая обработка шатунов	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	95

Учебное электронное издание

КОНОВАЛОВ Дмитрий Николаевич
ХОЛЬШЕВ Николай Васильевич
ГЛАЗКОВ Юрий Евгеньевич
МИЛОВАНОВ Александр Васильевич
ПРОХОРОВ Алексей Владимирович
ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Учебное пособие

Редактирование Е. С. Мордасовой
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова
Обложка, упаковка, тиражирование Е. С. Мордасовой

ISBN 978-5-8265-2586-9



Подписано к использованию 25.05.2023.

Тираж 50 шт. Заказ № 44

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru