

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ (ПРОИЗВОДСТВО МАШИН)

Учебно-методический комплекс
для студентов специальностей
1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

В трех частях

Часть 3

Составители

А. А. Лысов, Е. М. Найдёнышев, А. С. Аршиков

Новополоцк
ПГУ
2013

УДК 621:658.512(075.8)

ББК 34.5я73

Т38

Рекомендовано к изданию
методической комиссией машиностроительного факультета
в качестве учебно-методического комплекса
(протокол № 2 от 13.03.2007)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

директор ОАО «ТехнолитПолоцк» Л. В. ПЕТРОВ;
канд. техн. наук, доц. кафедры технологии и оборудования
машиностроительного производства УО «ПГУ» А. М. ДОЛГИХ

Технология машиностроения (производство машин) : учеб.-метод.
Т38 комплекс. В 3 ч. Ч. 3 / сост. А. А. Лысов, Е. М. Найденышев, А. С. Арши-
ков. – Новополоцк : ПГУ, 2013. – 296 с.
ISBN 978-985-531-357-2.

Содержит лекционный курс и методическое обеспечение практических за-
нятий. Приведены основные сведения о технологических процессах изготов-
ления деталей различных классов, общие принципы построения и проектиро-
вания технологических процессов механической обработки и сборки. Даны
основные типы и характеристики оборудования и технологической оснастки.

Предназначен для преподавателей и студентов машиностроительных спе-
циальностей вузов. Может быть полезен учащимся средних специальных учеб-
ных заведений, инженерно-техническим работникам предприятий машино-
строительного профиля.

УДК 621:658.512(075.8)

ББК 34.5я73

ISBN 978-985-531-357-2 (ч. 3)

ISBN 978-985-418-581-1

© Лысов А. А., Найденышев Е. М., Аршиков А. С., составление, 2013
© УО «Полоцкий государственный университет», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Лекционный курс	6
1. Сборка машин	6
1.1. Разработка технологического процесса сборки машин	6
1.2. Ознакомление со служебным назначением машины	7
1.3. Анализ соответствия технических требований и норм точности по служебному назначению машины	9
1.4. Разработка последовательности и выбор вида и формы организации труда	18
1.5. Выбор средств облегчения труда	19
1.6. Нормирование, определение трудоемкости сборки	21
1.7. Пример разработки технологического процесса сборки	22
2. Методы и средства контроля качества машин	35
2.1. Погрешности сборочных процессов	35
2.2. Методы контроля точности машин и их узлов	37
2.3. Испытание машин	40
3. Особенности достижения требуемой точности типовых узлов деталей	42
3.1. Монтаж валов	42
3.2. Зубчатые передачи	52
4. Автоматическая сборка изделий	61
4.1. Теоретические положения автоматической сборки	61
4.2. Автоматическая сборка с применением сборочных машин	66
4.3. Автоматическая сборка с применением робототехники	68
5. Изделие и его элементы. Понятие о сборочных процессах	73
5.1. Технологическая организация сборки	75
5.2. Методы сборки. Технологическая классификация методов сборки	78
5.3. Подготовка деталей к сборке	82
5.4. Технологический контроль и испытание узлов машин	88
5.5. Окраска машин и консервация	89
6. Изготовление типовых деталей машин	91
6.1. Технология изготовления металлоконструкций	91
6.2. Изготовление базовых деталей – станин и рам	108
6.3. Обработка корпусных деталей	132
6.4. Изготовление валов	148
6.5. Изготовление шпинделей	160
6.6. Изготовление коленчатых валов	178
6.7. Изготовление цилиндрических зубчатых колес	190
6.8. Изготовление конических зубчатых колес	204
6.9. Изготовление червячных пар	209
6.10. Изготовление ходовых винтов и гаек	215
6.11. Изготовление деталей класса «пустотелые цилиндры»	229

6.12. Изготовление поршней	240
6.13. Изготовление рычагов и вилок.	
Служебное назначение конструктивные особенности	253
6.13.1. Технические требования к рычагам и вилкам.	
Материалы и способы получения заготовок	
рычагов и вилок	255
6.13.2. Технологические процессы изготовления деталей	
типа рычагов	256
6.13.3. Контроль рычагов и вилок	271
6.14. Изготовление шатунов. Служебное назначение	
и конструктивные особенности шатунов	272
6.14.1. Технические условия на шатуны.	
Материалы и заготовки для шатунов	273
6.14.2. Технологический процесс изготовления шатунов	275
6.14.3. Контроль шатунов	282
Практические занятия	283
Лабораторные работы	283
Курсовое проектирование	284
Цели и задачи курсового проектирования	284
Тема и задания	284
Основные требования к курсовому проекту	285
Содержание, объём и оформление курсового проекта	285
Указания к разработке разделов	
расчетно-пояснительной записки	287
Защита курсового проекта	288
Вопросы к экзамену	289
Литература	292

ВВЕДЕНИЕ

Часть третья курса включает два раздела: «Проектирование технологических процессов механосборочного производства» и «Изготовление типовых деталей машин», содержащих лекционную часть, практические и лабораторные занятия, методические указания к выполнению курсовой работы.

В конце 30-х годов XX в. профессор А.П. Соколовский высказал идею типизации технологических процессов. Ее первым этапом является классификация деталей машин. Детали могут быть разделены на классы по общности технологических задач, возникающих при их изготовлении (валы, втулки, диски, рычаги, плиты, стойки, угольники, бабки, зубчатые колеса и др.). Каждый класс деталей разбивают на группы, подгруппы и типы.

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый план (маршрут) операций, осуществляемых на однородном оборудовании с применением однотипных приспособлений и инструментов. Разработка классификации деталей сочетается с унификацией и нормализацией их конструкций. Это позволяет укрупнить партии деталей, применить при их изготовлении более прогрессивную технологию, а также сократить номенклатуру режущих и измерительных инструментов.

Первоначально типовые технологические процессы использовались как рекомендуемые маршруты обработки, иногда – с указанием модели станка.

Позже появилась документация, позволяющая обрабатывать 20 – 30 однотипных деталей по одному типовому технологическому процессу.

В разделе «Изготовление типовых деталей машин» дается типовая технология изготовления деталей различных классов (в первоначальном значении), приводятся рекомендации по выбору методов обработки, оборудования и технологической оснастки.

Изучив раздел «Проектирование технологических процессов механосборочного производства», студент приобретает знания методики проектирования технологических процессов механической обработки деталей машин и сборки узлов и изделия в целом.

ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

1. СБОРКА МАШИН

1.1. Разработка технологического процесса сборки машин

Труд многих людей, вкладываемый в изготовление машин, окажется рационально затраченным только в том случае, если он будет направлен глубоко и правильно разработанной технологией. На технолога, участвующего в разработке технологического процесса изготовления машины, ложится большая ответственность за качество и себестоимость изготавливаемой машины, а также за производительность труда рабочих.

Разработка технологического процесса изготовления машины не должна сводиться к формальному установлению последовательности обработки поверхностей деталей, выбору оборудования и режимов, последовательности соединения отдельных деталей и узлов. Она требует творческого подхода для обеспечения согласованности всех этапов построения машины и достижения требуемого качества с наименьшими затратами труда.

Сборка является одним из заключительных этапов изготовления машины, в котором проявляются результаты всей предшествующей работы, проделанной конструкторами и технологами по созданию этой машины. Качество машины и трудоемкость сборки во многом зависят от того, как понято конструктором и воплощено в конструкции служебное назначение машины, как установлены нормы точности, насколько удачно выбраны методы достижения требуемой точности машины и как эти методы реализуются в технологии изготовления машины.

Участвуя вместе с конструктором в создании машины, технолог, разрабатывающий технологический процесс ее сборки, должен знать служебное назначение машины, понимать связи, посредством которых машина должна выполнять предписанный ей процесс, обеспечить действие этих связей в машине с требуемой точностью соответствующим построением технологического процесса.

В технологическом процессе изготовления машины сборке принадлежит ведущая роль. Технологические процессы изготовления деталей часто оказываются подчиненными технологии сборки машины. Поэтому вначале разрабатывается технология сборки. Этому должны предшествовать изучение служебного назначения машины и анализ соответствия ему технических требований и норм точности.

1.2. Ознакомление со служебным назначением машины

Каждая машина создается для выполнения определенного технологического процесса, в результате осуществления которого должна быть получена продукция требуемого качества. В связи с этим содержание служебного назначения машины должно, прежде всего, отражать исчерпывающие данные о продукции, которую ей предстоит производить: вид, качество, количество. Служебное назначение машины должно включать перечень условий, в которых машине предстоит работать и производить продукцию требуемого качества в необходимом количестве. Условия работы машины берут из описания технологического процесса изготовления продукции, они включают комплекс показателей с допустимыми отклонениями, характеризующих качество исходного продукта, потребляемую энергию, режимы работы машины и состояние окружающей среды.

Составной частью описания служебного назначения машины могут быть требования к экономической эффективности, надежности и производительности машины. Требуемая производительность машины определяется в результате разработки технологического процесса изготовления продукции и проведения технико-экономических расчетов.

Кроме того, в описание служебного назначения машины могут входить дополнительные требования, которые необходимо учесть при проектировании и изготовлении машины: к внешнему виду, безопасности работы, удобству и простоте обслуживания и управления, уровню шума, коэффициенту полезного действия и т.п. В качестве примера рассмотрим, как формулируется служебное назначение агрегатного станка (рис. 1.1, а). Станок мод. № 0000 предназначен для сверления восьми отверстий в шестерне, зенкования фасок и нарезания резьбы $M8 \times 1,25$ в них (рис. 1.1, б).

Станок должен обеспечивать при сверлении отверстий диаметром $7^{+0,16}$ мм под резьбу 7-го квалитета радиальное положение отверстий с отклонением не более 0,1 мм, угловое положение – с отклонением не более 30', перпендикулярность осей отверстий к поверхности К – с отклонением не более 0,15/100 мм. Такую точность должен обеспечивать станок при изготовлении детали из поковки с предварительно обработанными торцами К, Г и центральным отверстием диаметром $81,5^{+0,02}$ мм при схеме базирования заготовки, показанной на рис. 1.1, б. Материал заготовки – сталь 12ХНЗ, твердость НВ 163...197, масса 1,95 кг. Температура заготовок 20^{+20}_{-10} °С, температура воздуха в цехе (20 ± 4) °С. Производительность станка должна быть 150 деталей/ч, требуемая долговечность станка – 8 лет.

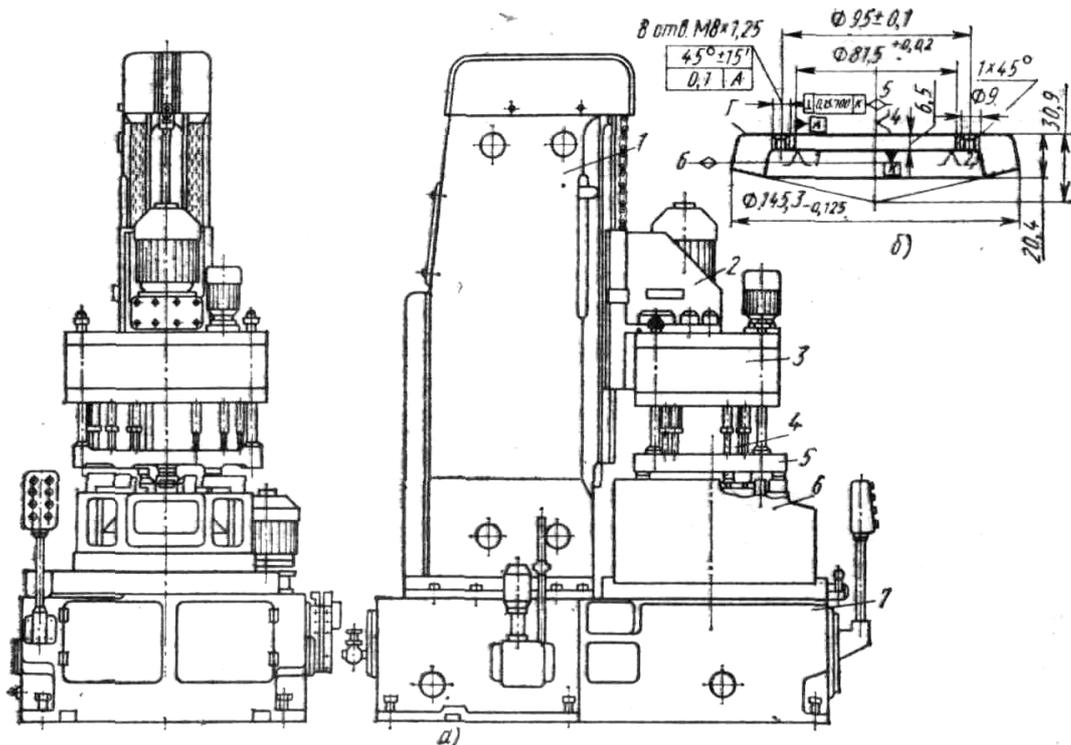


Рис. 1.1. 24-шпindelный вертикальный сверлильно-резьбонарезной агрегатный станок:

1 – вертикальная станина; 2 – силовая головка; 3 – шпindelная головка; 4 – инструмент; 5 – кондукторная плита; 6 – приспособление; 7 – основание

Первоначально служебное назначение машины формулируется заказчиком в результате разработки технологического процесса изготовления продукции и уточняется при оформлении заказа на проектирование машины. Для конструктора формулировка служебного назначения машины является исходным документом, который впоследствии прилагается им к чертежам машины. Технолог, приступающий к проектированию технологии изготовления машины и являющийся лицом, ответственным за сдачу готовой машины заказчику, должен критически оценить формулировку служебного назначения машины. Это необходимо для того, чтобы задачи, которые должны быть решены с помощью создаваемой машины, были определены правильно. Если ошибка или неточности, допущенные при конструировании и изготовлении машины, еще как-то устранимы, то ошибки в определении служебного назначения машины – ее замысла – не поддаются исправлению и нередко ведут к неполноценности или негодности конструкции. На практике нередки случаи, когда уточнения служебного назначения машины на стадии проектирования технологического процесса требуют значительных конструктивных доработок и способствуют повышению качества машины.

1.3. Анализ соответствия технических требований и норм точности по служебному назначению машины

Технические требования и нормы точности вытекают из служебного назначения машины и являются результатом преобразования качественных и количественных показателей служебного назначения машины в показатели размерных связей ее исполнительных поверхностей. Поэтому, приступая к разработке технологического процесса, необходимо понимать смысл тех требований, которые предъявляются к качеству изготавливаемой машины, и быть уверенным в том, что они разработаны правильно.

Разработка технических требований и норм точности на создаваемую машину является достаточно сложной. Бывают случаи, когда конструкторы задают технические требования в неявной форме (не выражая их цифрами). Технологам в таких случаях приходится уточнять и даже дополнять недостающие технические требования или переводить на язык цифр условия, заданные в неявной форме.

Разработке или проведению анализа соответствия технических требований и норм точности служебному назначению машины могут способствовать: теоретические исследования физической сущности явлений, сопутствующих работе машины; эксперименты на опытных образцах, макетах или даже первых экземплярах машины; изучение опыта эксплуатации машин, аналогичных подготавливаемой к изготовлению; суждения логического характера на основании опыта, которым обладает технолог, выполняющий анализ.

Исходными данными для установления норм точности машины могут являться требования к качеству продукции, которую должна производить машина, производительности, долговечности машины и т.д. В конечном счете, соблюдение этих требований зависит от точности формы, размеров, относительного положения и направления движения исполнительных поверхностей машины, т.е. от точности размерных связей между ними.

Для перехода от требований служебного назначения к размерным параметрам машины следует:

- выявить исполнительные поверхности машины;
- определить виды связей исполнительных поверхностей, посредством которых машина должна осуществлять технологический процесс и производить продукцию;
- осуществить переход от номинальных значений и допусков параметров продукции и процесса к параметрам связей исполнительных поверхностей машины;

– преобразовать в номиналах и допусках параметры различного рода связей исполнительных поверхностей в параметры размерных связей и установить нормы точности формы, размеров, относительного положения и направления движения исполнительных поверхностей машины.

Переход от параметров качества продукции и процесса к параметрам связей исполнительных поверхностей машин или преобразование связей могут быть осуществлены следующим путем. Если параметр y , отражающий служебное назначение машины или вид связи ее исполнительных поверхностей, находится в функциональной зависимости от ряда каких-то параметров x_1, x_2, \dots, x_n , то в общем виде эта зависимость может быть представлена в виде исходного уравнения

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1.1)$$

Для составления исходного уравнения следует сначала разобраться в явлениях, возникающих в процессе работы машины, и оценить эти явления с качественной стороны. Качественная оценка явлений позволяет установить причины возникновения отклонений в процессе работы машины и выявить их структуру. Решение исходного уравнения сводится к установлению номинальных значений аргументов x_1, x_2, \dots, x_n , удовлетворяющих номинальному значению функции y , заданному непосредственно служебным назначением машины или полученному в результате проведенных преобразований.

Поскольку отклонения величин x_1, x_2, \dots, x_n носят случайный характер, то они должны быть ограничены допусками, исходя из допуска на отклонения значений функции y по формуле

$$\delta_y = \sqrt{\sum_i \left(\frac{dy}{dx_i} \right)_{x_i}^2 K_{x_i}^2 \delta_{x_i}^2}, \quad (1.2)$$

где $\frac{dy}{dx_i}$ – передаточное отношение, учитывающее степень влияния отклонения аргумента x_i на отклонение функции y ; i – номер аргумента; K_{x_i} – коэффициент, учитывающий закон рассеяния отклонений аргумента x_i ; δ_{x_i} – поле допуска, ограничивающее отклонения аргумента.

При рассеянии отклонений по нормальному закону $K_{x_i} = 1$.

Для определения положения допусков δ_{x_i} относительно номинальных значений аргументов необходимо установить их средние допустимые значения, исходя из среднего допустимого значения y функции и используя формулу

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n). \quad (1.3)$$

При этом удобнее, если это возможно, совмещать средние допустимые значения аргументов с их номинальными значениями. В таком случае значения координат середин полей допусков $\Delta O_{xi} = 0$, поскольку

$$\Delta O_{xi} = \bar{x}_i - x_i. \quad (1.4)$$

Задача перехода от параметров служебного назначения машины к параметрам размерных связей ее исполнительных поверхностей, или задача преобразования связей, сводится к установлению номинальных значений x_i и значений δ_{xi} , x_i , исходя соответственно из значений y , δ_y и y , содержащихся в условиях задачи. Поскольку при n неизвестных аргументах обычно в наличии имеется лишь одно уравнение, дающее связь соответствующих величин, то подбор номинальных значений аргументов или их допусков может дать бесконечно большое число решений, что естественно для проектных задач. Насколько удачно то или иное решение, можно оценить лишь в результате технико-экономического расчета.

В сложных случаях преобразования различного вида связей исполнительных поверхностей машины в размерные преобразования удобнее вести поэтапно, преобразуя в номиналах и допусках один вид связи в другой, постепенно подходя к размерным связям. В ряде случаев оказывается затруднительным составление строгих математических зависимостей, позволяющих осуществить переход от продукции и процесса к связям исполнительных поверхностей машины и преобразование связей. В таких случаях разработка норм точности базируется на эксперименте, опыте и логике.

Изложенный подход к разработке норм точности и технических требований является общим и в одинаковой мере распространяется на связи в машине, отображаемые как линейными, так и нелинейными уравнениями. В случае линейных зависимостей переход от служебного назначения машины к связям ее исполнительных поверхностей и разработку норм точности ведут на основе теории размерных цепей. Рассмотрим такой случай на примере агрегатного станка (см. рис. 1.1).

Исполнительными поверхностями агрегатного станка являются поверхности отверстий в шпинделях, в которых устанавливают режущие инструменты, базирующие поверхности приспособления, являющегося составной частью станка, и поверхности отверстий кондукторных втулок, направляющих сверла. Выявим требования к геометрической точности станка, т.е. к размерным связям его исполнительных поверхностей, исходя из требуемой точности размеров и положения обрабатываемых отверстий при сверлении.

Чтобы агрегатный станок соответствовал своему служебному назначению, необходимо:

- чтобы сверла, направляемые кондукторными втулками, обеспечивали получение диаметров отверстий с точностью 0,16 мм;
- кондукторные втулки задавали правильное направление сверлам и обеспечивали радиальное положение отверстий с точностью 0,15 мм, угловое положение 30', перпендикулярность отверстий к установочной базе детали 0,15/ 100 мм;
- сверла при входе во втулки не деформировались.

Погрешность любого выдерживаемого размера при обработке заготовки представляет собой сумму погрешностей установки (ω_y) заготовки, статической (ω_c) и динамической (ω_d) настроек системы станок-приспособление-инструмент-заготовка:

$$\omega = \omega_y + \omega_c + \omega_d. \quad (1.5)$$

В связи с этим необходимо, исходя из допуска на выдерживаемый размер, ограничить допусками каждую из составляющих погрешность обработки так, чтобы

$$\delta \geq \delta_y + \delta_c + \delta_d. \quad (1.6)$$

В процессе изготовления станка в основном достигается точность его статической настройки. Поэтому допуски на показатели геометрической точности станка должны устанавливаться исходя из δ_c . Не касаясь динамики процесса обработки, проанализируем зависимость размеров и положения обрабатываемых отверстий от геометрической точности станка.

Диаметр обрабатываемого отверстия $D_{отв}$ зависит не только от диаметра сверла $D_{св}$, но и от величины разбивки $\Delta_{разб}$ отверстия сверлом. Исследование причин разбивки отверстий показывает, что разбивка зависит от зазора Δ между сверлом и втулкой и приблизительно равна двойному зазору. Если допуск на диаметр обрабатываемого отверстия, равный 0,16 мм, разделить на три части и ограничить ими составляющие погрешность обработки отверстий следующим образом:

$$0,16 = 0 + 0,08 + 0,08,$$

то исходной величиной для дальнейших расчетов будет являться $\delta_c = 0,08$ мм. Поскольку роль разбивки отверстия весьма существенна, то в приближенном расчете можно полученным допуском δ_c ограничить разбивку отверстия сверлом. Тогда наибольший допустимый зазор между сверлом и втулкой

$$\Delta^{нб} = \Delta_{разб} / 2 = \delta_c / 2 = 0,08 / 2 = 0,04 \text{ мм}.$$

Так как зазор между сверлом и втулкой зависит от их диаметров, можно установить наибольшие допустимые отклонения диаметров сверла $\Delta_{св}$, отверстия во втулке $\Delta_{вт}$, а также нормы износа сверла $\Delta_{изн.св}$ и втулки $\Delta_{изн.вт}$, применив квадратичное суммирование отклонений:

$$\Delta^{нб} \geq \sqrt{\Delta_{св}^2 + \Delta_{вт}^2 + \Delta_{изн.св}^2 + \Delta_{изн.вт}^2}. \quad (1.7)$$

Требуемая точность радиального и углового положения каждого отверстия обеспечивается в процессе обработки через размерные цепи системы станок-приспособление-инструмент-заготовка. На рис. 1.2 показаны размерные цепи A , β , γ , с помощью которых достигается точность расстояния одного из обрабатываемых отверстий от базирующего отверстия, его перпендикулярность к установочной базе детали и относительное угловое положение пары обрабатываемых отверстий. Замыкающими звеньями этих размерных цепей являются выдерживаемые расстояния A_{Δ} и углы β_{Δ} и γ_{Δ} . Расчет допусков следует вести, исходя из соответствующих значений δ_c , полученных в результате распределения допусков на параметры положения отверстий в детали между тремя составляющими погрешности обработки. Расчет должен определить: требуемую точность кондукторной плиты, точность базирования кондукторной плиты по приспособлению, точность базирующих элементов приспособления.

Чтобы сверла не деформировались при вхождении во втулки и для уменьшения трения между ними, необходимо обеспечить соосность сверл и втулок. В общем случае соосность сверла и втулки может нарушаться вследствие ряда причин, к числу которых следует отнести смещение B (рис. 1.3) и поворот ρ оси вращения сверла относительно оси отверстия в кондукторной втулке, радиальное биение сверла, вызываемое смещением B и поворотом η сверла относительно оси его вращения, и непараллельность μ , направления подачи сверла оси отверстия и кондукторной втулке. Чтобы при наличии указанных отклонений избежать деформации сверла, следует ограничить отклонения, исходя из наименьшего допустимого зазора между сверлом и втулкой.

Однако обеспечить при изготовлении станка сумму всех отклонений в пределах наименьшего зазора затруднительно ввиду его малости ($\Delta^{нм} = 0,013$ мм). Поэтому приходится допускать деформирование сверла при вхождении во втулку, повышенный износ и ограничивать отклонения, приводящие к несоосности сверла со втулкой, экономически приемлемыми допусками, мм: $\delta_B = 0,02$; $\delta_{\rho} = 0,02/150$; $\delta_{\eta} = 0,04$; $\delta_{\mu} = 0,03/150$.

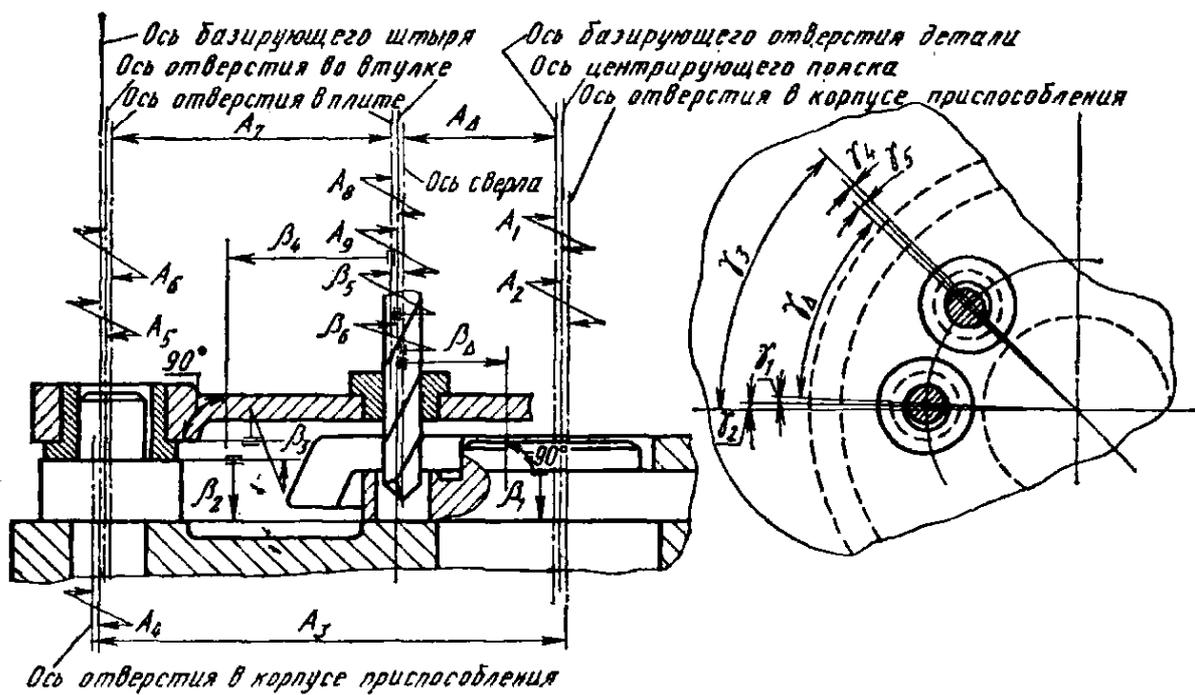


Рис. 1.2. Схема размерных цепей системы станок-приспособление-инструмент-заготовка агрегатного станка, с помощью которых достигается точность положения одного из обрабатываемых отверстий

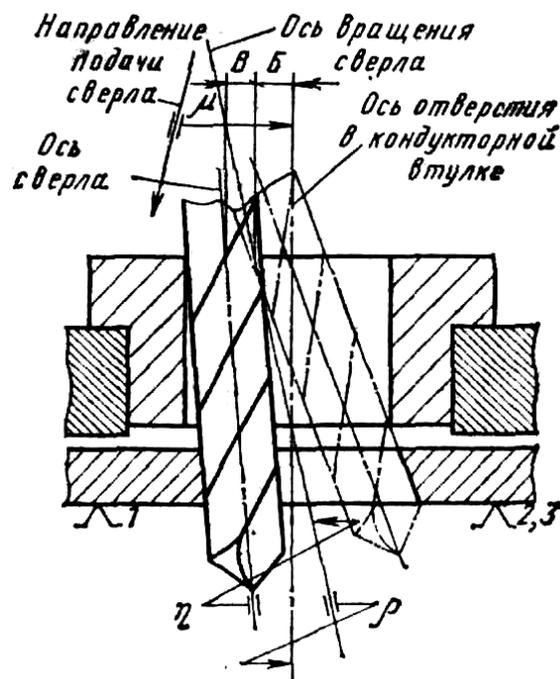


Рис. 1.3. Схема отклонений положения и направления подачи сверла относительно отверстия в кондукторной втулке

При разработке норм точности выясняются задачи, которые необходимо решить в процессе изготовления машины. Технолог должен уяснить смысл задач, чтобы строить технологический процесс со знанием дела. Для этого требуется проследить весь путь, приведший к заданным величинам допусков: разобраться в сущности процесса, который должна выполнять машина, в связях между исполнительными поверхностями машины, оценить правильность установленных норм с качественной и количественной стороны. Глубокое понимание системы размерных связей в машине, уверенность в правильности построения этой системы и в целесообразности ее параметров могут быть достигнуты лишь в результате кропотливого анализа соответствия норм точности и технических требований служебному назначению машины. Такой анализ крайне необходим, и чем тщательнее он будет проведен технологом, тем меньше недочетов можно ожидать в спроектированном технологическом процессе.

Изложенный подход к разработке норм точности и технических требований может быть применен к любому узлу машины. Покажем это на примере плунжерного насоса, используемого в различных станках.

Плунжерный насос (рис. 1.4) предназначен для подачи масла в смазочную систему станка под давлением не ниже 4,9 МПа в объеме 0,06 ... 0,08 л/мин при (100 ± 10) дв. ходов/мин и ходе плунжера $S = 6,1$ мм. Сила P на плунжере в первоначальный момент вспомогательного хода должна быть (40 ± 10) Н. Насосу предстоит подавать масло индустриальное 20 при температуре 20...80°C.

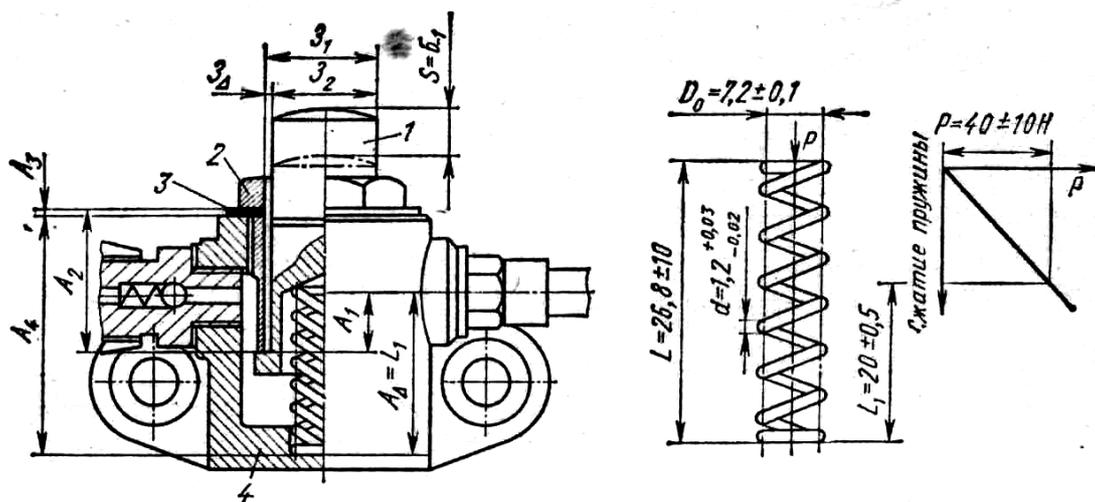


Рис. 1.4. Плунжерный насос (число рабочих витков пружины $I = 10 \pm 3$):
1 – шток; 2 – втулка; 3 – прокладка; 4 – корпус

Рассмотрим решение задачи по обеспечению требований служебного назначения плунжерного насоса в части силы P на плунжере в первоначальный момент вспомогательного хода, определяемого нелинейным уравнением

$$P = (L - L_1)Gd^4 / (8D_0^3i), \quad (1.8)$$

где L и L_1 – длина пружины соответственно в свободном состоянии и под нагрузкой P , мм; G – модуль упругости 2-го рода, Па; d – диаметр проволоки пружины, мм; D_0 – средний диаметр пружины, мм; i – число рабочих витков пружины.

Решение уравнения (1.8) сводится к установлению номинальных значений аргументов, исходя из заданного служебным назначением насоса номинального значения $P = 40$ Н. Пусть подбор номинальных значений аргументов, проведенный с учетом действующих нормативов и использованием опыта решения подобных задач в прошлом, привел к следующему решению: $L = 26,8$ мм, $L_1 = 20$ мм, $G = 80\,000$ МПа, $d = 1,2$ мм, $D_0 = 7,2$ мм, $i = 10$. Средние значения аргументов примем равными их номинальным значениям.

Для ограничения допусками случайных отклонений аргументов от своих средних значений необходимо воспользоваться формулой (1.2), согласно которой при условии, что $k_{xi} = 1$, связь допуска δ_P , ограничивающего отклонение функции P , с допусками, ограничивающими отклонения аргументов, предстанет в следующем виде:

$$\begin{aligned} \delta_P = & \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial L}\right)_{\bar{L}}^2} \delta_L^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial L_1}\right)_{\bar{L}_1}^2 \delta_{L_1}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial L_1}\right)_{\bar{G}}^2 \delta_G^2 + \\ & + \left(\frac{\partial P}{\partial d}\right)_d^2 \delta_d^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial D_0}\right)_{D_0}^2 \delta_{D_0}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial i}\right)_{\bar{i}}^2 \delta_i^2 \end{aligned}$$

Подставив в это выражение значения частных производных, получим:

$$\begin{aligned} \delta_P = & \sqrt{\left(\frac{Gd^4}{8D_0^3i}\right)^2} \delta_L^2 + \left(\frac{Gd^4}{8D_0^3i}\right)_{\bar{L}_1}^2 \delta_{L_1}^2 + \left[\frac{(L - L_1)}{8D_0^3i}\right]^2 \delta_G^2 + \\ & + \left[\frac{(L - L_1)Gd^3}{2D_0^3i}\right]^2 \delta_d^2 + \left[\frac{3(L - L_1)Gd^4}{8D_0^4i}\right]^2 \delta_{D_0}^2 + \left[\frac{(L - L_1)Gd^3}{2D_0^3i}\right]^2 \delta_i^2. \end{aligned}$$

Вычислив значения частных производных и учитывая их, далее следует распределить допуск δ_P между аргументами, сообразуясь с возможностями технологии изготовления деталей плунжерного насоса и стремясь к наиболее экономичному обеспечению требования служебного назначения насоса в отношении силы P на плунжере. Предположим, что наиболее рациональным в данном случае оказалось следующее распределение допуска δ_P между аргументами: $\delta_L = 3$ мм; $\delta_{L1} = 0,8$ м; $\delta_G = 2\ 000$ МПа; $\delta_d = 0,05$ м; $\delta_{D0} = 0,2$ м; $\delta_i = 0,6$ витков.

Поиск оптимальных значений допусков на отклонения аргументов может быть осуществлен конструктором тем успешнее, чем он более компетентен в области технологии. Очевидно, что технолог, лучше знающий возможности производства в силу своего служебного положения, должен быть активным участником в назначении допусков.

При назначении допусков на отклонения аргументов не должны упускаться из виду интересы потребителя и следует учитывать, что качество изделий в процессе эксплуатации претерпевает изменения, т.к. изделие изнашивается, стареет и т.д. В целях сохранения работоспособности изделия в течение предписанного срока службы некоторые допуски, которыми ограничены отклонения аргументов, приходится ужесточать.

В нашем примере с плунжерным насосом, в частности, можно предвидеть, что из-за усталостных явлений значение модуля упругости G материала пружины уменьшится к концу работы насоса. Как показывает опыт эксплуатации подобных насосов, через 10 000 ч работы G может достичь 70 000 МПа, что приведет к ослаблению давления пружины (P снижается на 5 Н). Чтобы обеспечить требуемое значение силы P на протяжении указанного срока эксплуатации насоса, при расчете допусков необходимо исходить не из значения $P = 40 \pm 10$ Н, а $P = 40_{-5}^{+10}$ Н. Ужесточение требования в отношении P может быть обеспечено, например, за счет изменения допуска на длину пружины в свободном состоянии. Расчет показывает, что δ_L должно быть равно 2 мм, а не 3 мм, как было установлено ранее.

Следующим шагом в разработке технологического процесса сборки машины является ознакомление с намечаемым выпуском машин в единицу времени (масштаб выпуска) и общим числом машин, подлежащих выпуску по неизменным чертежам (серией), т.к. выбор методов достижения требуемой точности тесно связан с количественным выпуском машин. Помимо этого данные о масштабе выпуска и серии будут необходимы и в дальнейшем для выбора видов оборудования, объема технологической оснастки, вида и формы организации технологического процесса сборки машины и его технико-экономической оценки [1].

1.4. Разработка последовательности и выбор вида и формы организации труда

Последовательность общей сборки машины в основном определяется ее конструктивными особенностями и заложенными в конструкции методами получения требуемой точности машины. В меньшей мере на последовательность сборки машины влияет организация сборочного процесса. Общие указания о последовательности сборки машины состоят в следующем:

- по чертежам машины и спецификации необходимо выявить все составляющие машину узлы, подузлы, комплекты и отдельно входящие в нее детали;
- общую сборку машины и сборку любой сборочной единицы следует начинать с установки на сборочном стенде или конвейере основной базирующей детали; в ряде случаев роль базирующей детали может выполнять комплект или даже более сложное соединение деталей;
- смонтированные в первую очередь сборочные единицы и детали не должны мешать установке последующих деталей и сборочных единиц;
- вначале необходимо собирать сборочные единицы и детали, выполняющие наиболее ответственные функции в работе машины;
- при наличии параллельно связанных размерных цепей в машине сборку следует начинать с установки тех сборочных единиц и деталей, размеры или относительные повороты поверхностей которых являются общими звеньями и принадлежат большему числу размерных цепей.

Из многочисленных вариантов возможной последовательности сборки машины лишь некоторые позволяют собрать машину заданного качества при наименьших затратах средств и труда. Нахождение оптимального варианта является довольно сложной задачей, успешному решению которой в значительной мере способствует проведение размерного анализа машины.

Последовательность сборки удобно изображать в виде схемы сборки [2], представляющей собой условное изображение порядка соединения изделий и узлов при сборке.

Сборку сравнительно сложных изделий, требующих применения разнообразной сборочной оснастки и оборудования, выпускаемых сравнительно большими партиями, обычно осуществляют с расчленением сборочного процесса на операции. Это позволяет расширить фронт работ, оснастить каждое рабочее место необходимым оборудованием и приспособлениями, организовать поточную сборку и значительно повысить производительность сборки, сократить ее цикл.

Расчленение сборочного процесса на операции требует такой компоновки переходов, чтобы по оперативному времени они были бы равны или кратны между собой, а при массовой поточной сборке равнялись бы или были кратны такту сборки.

Компоновку операций рекомендуется осуществлять, пользуясь схемой сборки и данными о продолжительности переходов, а также учитывая возможность рациональной организации рабочего места, транспортирования изделия и его частей от одного рабочего места к другому. Правильной компоновке операций из переходов, обеспечивающей четкую координацию действий всех сборщиков, может помочь циклограмма сборки, а для сложных, трудоемких изделий – календарный (сетевой) график сборки.

Схема сборки изделия, циклограмма его сборки, планировка участка сборки тесно связаны между собой, определяют наивыгоднейшую форму организации производственного процесса сборки.

При компоновке операций сборки важно обеспечить равномерную загрузку рабочих мест. Коэффициент загрузки

$$(k) = \frac{t_{оп}}{(T_p)}, \quad (1.9)$$

где $t_{оп}$ – оперативное время операции, мин; T – принятый такт сборки, мин/шт.; P – число рабочих мест, на которых одновременно выполняется операция. Допускается принимать $k = s = 0,9...1,03$.

Документом, отражающим последовательность операций при сборке, является также технологическая карта сборки. В отличие от схемы сборки, весьма лаконично указывающей на последовательность сборки сборочных единиц и их монтажа в машину, в технологической карте сборки приводятся более широкие указания. Пригонка деталей, регулирование их положений, разметка по месту, обработка крепежных отверстий, контроль качества выполнения сборочных операций – все это должно найти отражение в технологической карте сборки. При этом последовательность выполнения сборочных переходов должна соответствовать последовательности, указанной в схеме сборки.

После определения последовательности сборки машины необходимо установить вид и форму организации сборочного процесса, ориентируясь на наибольшую производительность труда и наименьшую себестоимость сборки машины.

1.5. Выбор средств облегчения труда

На сборку машины приходится 10...60% общей трудоемкости ее изготовления. Сборочные работы требуют значительной затраты физических

сил сборщиков. Поэтому повышение производительности сборочных работ и облегчение труда сборщиков являются важнейшими задачами, которые приходится решать при разработке технологии сборки машины.

При выборе средств облегчения труда и повышения его производительности необходимо учитывать число машин, подлежащих сборке в единицу времени и по неизменяемым чертежам, а также весь комплекс работ, которые необходимо выполнить при сборке машины: комплектование и транспортирование деталей и сборочных единиц к месту сборки, координирование их с заданной точностью, соединение, проверку достигнутой точности положения и движения монтируемых деталей, регулирование, пригонку, фиксацию относительных положений деталей и сборочных единиц, транспортирование собираемого объекта, испытания отдельных узлов и машины в целом, очистку, окраску.

При изготовлении машин в небольшом количестве применяют главным образом универсальную технологическую оснастку и оборудование. С увеличением масштабов выпуска открывается экономически оправдываемая возможность использования специальных средств. Наконец, выпуск машин в большом количестве позволяет осуществить комплексную механизацию и автоматизацию сборочных работ, обеспечивающих наиболее высокую производительность и избавляющих рабочих-сборщиков от тяжелого и однообразного труда. Задачу автоматизации сборочных работ необходимо решать в комплексе, т.к. автоматизация только отдельного вида работ часто не дает ожидаемого эффекта в целом.

При механизации и автоматизации доставки деталей и сборочных единиц к месту их монтажа в машину могут быть с успехом использованы конвейеры различных типов, оборудованные устройствами для адресования транспортируемых деталей со склада к рабочим местам в любые точки сборочного цеха. Такие конвейеры могут работать по «жесткой», неизменяемой длительное время, программе, и «гибкой», автоматически меняющейся в зависимости от характера монтируемых деталей и сборочных единиц на местах сборки. Конвейерами с устройствами для адресования деталей машин к рабочим местам можно оснащать сборочные цехи заводов не только массового, но и серийного и мелкосерийного производства.

При разработке технологического процесса сборки машины не меньшего внимания, чем транспортирование, должны заслуживать механизация и автоматизация других вспомогательных работ, например, комплектования деталей и сборочных единиц.

Во многих случаях комплектовочные работы требуют больших затрат труда, а ошибки, допущенные при комплектовании деталей, вызыва-

ют затруднения и потери времени при сборке машин. От четкости комплектования и своевременной отправки деталей на сборку во многом зависит бесперебойность сборочного процесса. Особо эффективной является механизация и автоматизация комплектовочных работ при изготовлении машин и механизмов широкой номенклатуры при сравнительно узкой номенклатуре деталей, из которых они собираются.

При установлении средств облегчения труда и повышения его производительности необходимо не только в полной мере использовать нормализованные и испытанные средства, обстоятельно описанные в работе [3], но и изыскивать новые пути.

Предварительный выбор оснастки и оборудования, которые необходимо использовать при сборке машины, дает возможность приступить к нормированию сборочных работ и определению трудоемкости сборки любой сборочной единицы и машины в целом.

1.6. Нормирование, определение трудоемкости сборки

Заключительным этапом разработки технологического процесса сборки машины является нормирование сборочных работ, определение трудоемкости сборки и необходимого числа рабочих мест или позиций, которые должен пройти собираемый объект, и формирование операций из переходов. Нормирование и определение трудоемкости сборочных работ осуществляют по формулам, приведенным в «Основах технологии машиностроения» [2], и по нормативам времени на слесарно-сборочные работы [3].

Нормативы времени на слесарно-сборочные работы содержат нормы основного технологического и вспомогательного времени выполнения наиболее распространенных сборочных переходов. Время обслуживания рабочего места, выделяемое рабочему для раскладки инструмента перед началом работы, очистки рабочего места, замены инструмента в процессе работы, передачи рабочего места сменщику, устанавливаются в зависимости от вида сборочных работ в размере 2...6% оперативного времени, представляющего собой сумму основного технологического и вспомогательного времени.

Перерывы для отдыха и удовлетворения естественных потребностей составляют 4...6% оперативного времени. При конвейерной сборке рекомендуется делать перерыв на 10 мин через каждые 1 ч 40 мин работы.

При сборке изделий партиями должны быть учтены с помощью нормативов затраты времени на подготовку сборочных работ для данной партии – так называемое подготовительно-заключительное время. При опре-

делении времени, затрачиваемого на операцию (трудоемкость операции), подготовительно-заключительное время относится к одному изделию и суммируется со штучным временем.

Суммирование трудоемкостей отдельных операций дает возможность найти трудоемкость сборки всего изделия, определить число необходимых рабочих мест или позиций и потоков, требуемых для сборки одинаковых изделий, по формулам, приведенным в работе [2].

При разработке технологического процесса сборки машины поточным методом должна быть обеспечена длительность операций, равная или кратная такту сборки машины. Упорядочение операций во времени является сложным делом и требует оценки всей предшествующей работы над проектом технологического процесса сборки машины.

Равенство или кратность времени операций такту сборки может быть достигнуто путем частичных изменений последовательности сборки машины, перекомплектования операций из переходов, совмещения и расчленения операций, изыскания более производительных методов сборки, использования более производительного оборудования и технологической оснастки, а также корректирования режимов работы оборудования.

Все мероприятия по упорядочению операций по времени ни в коем случае не должны влиять на качество машины, производительность и удобство ее сборки.

1.7. Пример разработки технологического процесса сборки

Рассмотрим разработку технологии сборки машины на примере разработки технологического процесса сборки одного узла – шестеренного масляного насоса (рис. 1.5). Общность методики разработки технологии сборки машины, узла и любой другой сборочной единицы вполне допускает ее показ на более простом примере.

Шестеренный насос предназначен для подачи смазочного материала к трущимся поверхностям деталей трактора под давлением 0,6 МПа. Насос должен обеспечить подачу масла не менее 30 л/мин при частоте вращения зубчатых колес 39^{-1} с.

Проанализируем достаточность и правильность технических условий, задаваемых чертежом, по подаче насоса, требуемой служебным назначением. Фактическая подача насоса

$$Q_{\phi} = 60Q_T n - Q_V - Q_{BC}, \quad (1.10)$$

где Q_T – теоретическая подача насоса за один оборот зубчатых колес, л/мин; n – частота вращения зубчатых колес, с^{-1} ; Q_V – утечка масла, л/мин; Q_{BC} – потери при всасывании, л/мин. При нагнетании возможны утечки масла:

$$Q_V = Q_{Vp} + Q_{Vз} + Q_{Vm} \quad (1.11)$$

где Q_{Vp} – утечка через радиальные зазоры между зубьями и корпусом; $Q_{Vз}$ – утечка, обусловленная неплотностью контакта зубьев; Q_{Vm} – утечка через торцовые зазоры между корпусом и зубчатыми колесами.

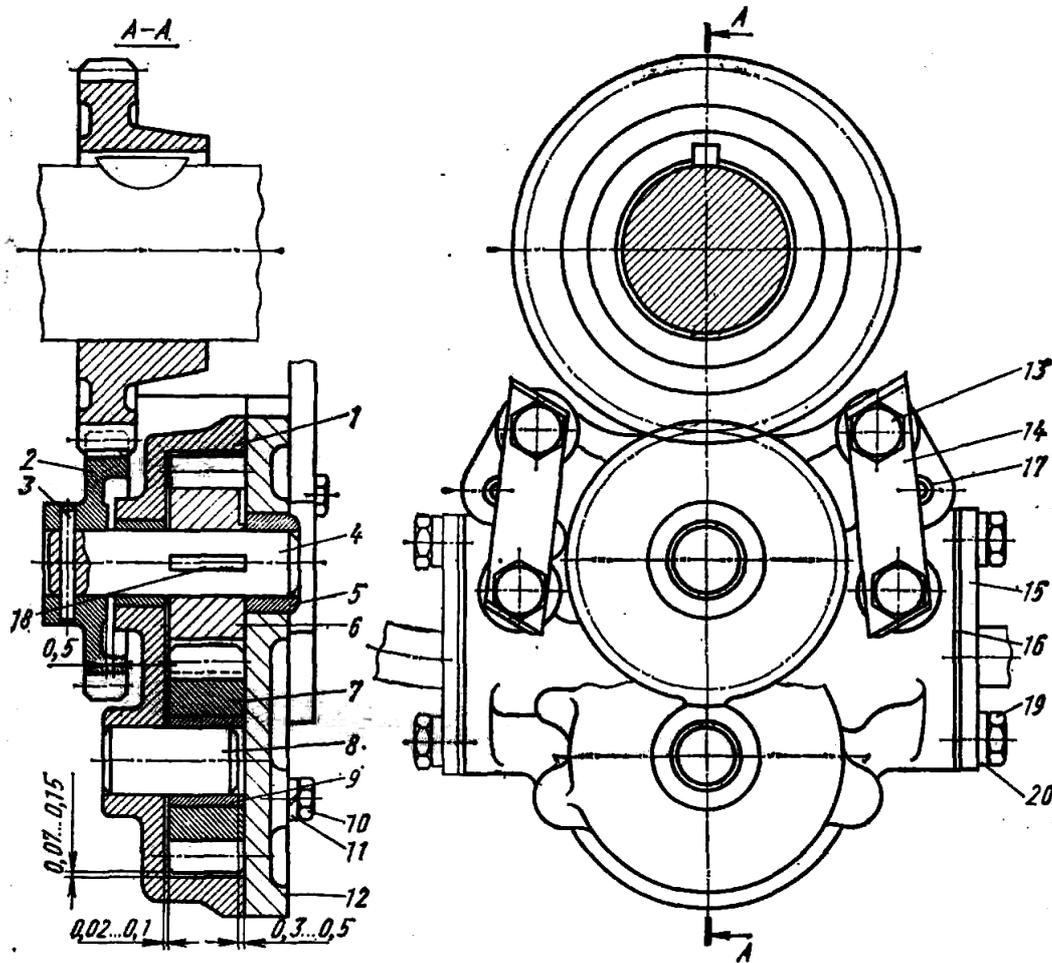


Рис. 1.5. Общий вид шестеренного масляного насоса:

1 – корпус; 2 – ведомое зубчатое колесо; 3 – штифт; 4 – валик; 5 – втулка; 6 – зубчатое колесо; 7 – кольцо; 8 – ось; 9 – втулка; 10 – винт; 11 – шайба; 12 – крышка; 13 – болт; 14 – стопорная пластина; 15 – труба приемника; 16 – прокладка; 17 – штифт; 18 – шпонка; 19 – винт; 20 – шайба

В соответствии с приведенными зависимостями расчет насоса и разработка норм точности должны быть проведены по следующей схеме. Исходя из требуемой подачи, следует установить теоретическую подачу,

нормы утечки и потерь масла при всасывании. Затем переходят к размерам зубчатых колес, их модулю, ширине и параметрам зацепления. Нормы допустимых утечек и потерь при всасывании позволяют ограничить допусками параметры, от которых зависят утечки и потери. В частности, исходя из установленной нормы утечки масла, находят нормы утечек $Q_{Ур}$, $Q_{Уз}$, $Q_{Ут}$, а исходя из них определяют наибольший допустимый радиальный зазор, боковой зазор между зубьями, торцевой зазор. Устанавливая наименьшие допустимые зазоры, следует учитывать условия трения зубчатых колес о корпус и возможность заклинивания их при нагреве во время работы.

При расчете допусков, необходимо определить, соответствуют ли требованиям служебного назначения насоса верхние предельные значения зазоров, заданные в чертежах. В табл. 1.1 приведены возможные утечки масла, найденные по методике расчета шестеренных насосов [4].

Таблица 1.1

Влияние зазоров на утечки масла

Причина утечки масла	Верхнее предельное отклонение зазора, мм	Возможная утечка масла, л/мин
Радиальные зазоры	0,15	0,44
Боковой зазор между зубьями зубчатых колес	0,45	4,49
Торцевой зазор между зубьями зубчатых колес	0,12	1,8
Всего	0,72	6,73

Потери при всасывании, одной из главных причин которых является разрежение во всасывающей камере насоса и неполное заполнение межзубовых впадин:

$$Q_{BC} = 4,83 \text{ л/мин.}$$

Учитывая, что теоретическая подача насоса при размерах зубчатых колес и корпуса, указанных в чертежах,

$$60Q_{Tn} = 60 \cdot 0,01785 \cdot 39 = 41,85 \text{ л/мин,}$$

можно ожидать, что подача насоса

$$Q_{ожид} = 41,95 - 6,73 - 4,83 = 30,39 \text{ л/мин.}$$

Следовательно, верхние предельные отклонения зазоров установлены правильно.

Среди технических требований имеются следующие:

1. В собранном насосе при прокручивании от руки зубчатые колеса должны вращаться плавно.

2. Собранный насос должен быть чистым; его зубчатые колеса должны работать плавно и бесшумно; насос следует подвергнуть испытаниям на специальной установке в течение 3 – 4 мин.

Требования, касающиеся легкости и плавности, а также бесшумности вращения зубчатых колес, заданы в неявной форме, поэтому формулировку первого из них следовало бы заменить следующей: в окончательно собранном насосе приводной вал должен свободно проворачиваться от руки; крутящий момент, требующийся для поворота приводного вала, не должен превышать 1...1,5 Н·м. Второе условие следует сформулировать так: уровень звукового давления (шума) при работе насоса под нагрузкой не должен превышать 40 дБ.

В нормы точности, заданные чертежом, следует внести еще одно уточнение: на зазор между корпусом и торцом ведомого зубчатого колеса привода следует установить допуск; учитывая, что для свободного вращения зубчатого колеса вполне достаточен зазор 0,1 мм, можно установить предельное отклонение зазора 0,1...0,5 мм.

Выяснив соответствие технических требований служебному назначению шестеренного насоса и откорректировав их, можно перейти к ознакомлению с намечаемым выпуском машин в единицу времени и по неизменяемым чертежам. Допустим, что в год надо изготовить 100 000 насосов рассматриваемой конструкции, причем общий выпуск насосов по неизменяемым чертежам составляет 800 000 шт.

Приступая к проведению размерного анализа, наметим наиболее важные задачи, которые необходимо решить в процессе изготовления насоса. Этими задачами является обеспечение:

- 1) требуемого радиального зазора между зубчатыми колесами и корпусом;
- 2) зазора между корпусом и торцами зубчатых колес (торцового зазора);
- 3) требуемого бокового зазора между зубьями зубчатых колес;
- 4) требуемого зазора между торцом оси ведомого зубчатого колеса и крышкой корпуса;
- 5) зазора между корпусом и торцом ведомого зубчатого колеса;
- 6) плотности контакта зубьев зубчатого колеса;
- 7) легкости вращения зубчатых колес.

Первые пять задач могут быть решены с помощью размерных цепей *А, Б, В, Г и Д* (рис. 1.6). Плотность контакта зубьев зубчатых колес зависит от относительного поворота образующих эвольвентных поверхностей

зубьев в двух координатных плоскостях; размерные цепи, с помощью которых обеспечивается решение этой задачи, рассмотрены ниже.

Для легкого вращения зубчатых колес необходимо чтобы зазор между торцами колес, корпусом и крышкой был не меньше толщины масляной пленки; для этого должны быть обеспечены с соответствующей точностью расстояние между торцами колес и дном корпуса и поворот торцов колес относительно дна корпуса; размерные цепи B и y (рис. 1.7) дают решение этих задач в одной из координатных плоскостей; были обеспечены требуемые зазоры в подшипниках, зависящие от диаметральных размеров отверстий втулок и валика (размерная цепь E , см. рис. 1.7) и от точности относительного смещения и поворота осей отверстий втулок в двух координатных плоскостях. Эти задачи могут быть решены в одной из координатных плоскостей с помощью размерных цепей K и μ .

Выявленные размерные цепи позволяют вскрыть заложенные в конструкции методы достижения точности каждого из перечисленных параметров и оценить правильность простановки размеров и допусков на чертежах деталей насоса.

Например, радиальный зазор (см. рис. 1.6 и табл. 1.2)

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3 + A_5 .$$

Таблица 1.2

Параметры составляющих звеньев размерной цепи A

Звено	Номинальное значение A_i , мм	Поле допуска δ_{A_i} , мм	Координаты середины поля допуска $\Delta 0_{A_i}$, мм	Сущность допустимого отклонения
A_1	48,75	0,017	-0,008	–
A_2	0	0,03	0	Предельно допустимое значение биения поверхности вершин зубьев относительно отверстия
A_3	0	0,072	0	Верхнее предельное значение зазора в подшипнике
A_4	0	0,05	0	Предельно допустимое значение биения наружной поверхности втулки относительно отверстия
A_5	48,75	0,05	0,1	–

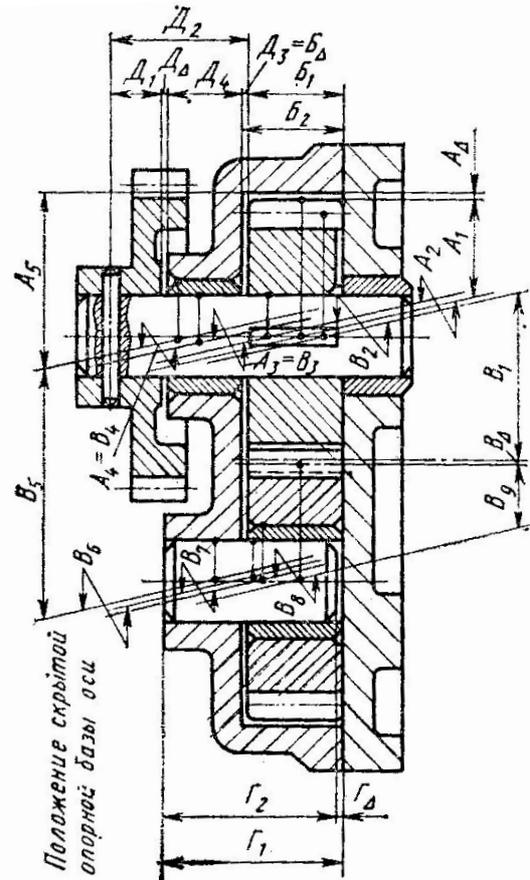


Рис. 1.6. Размерные цепи шестеренного насоса

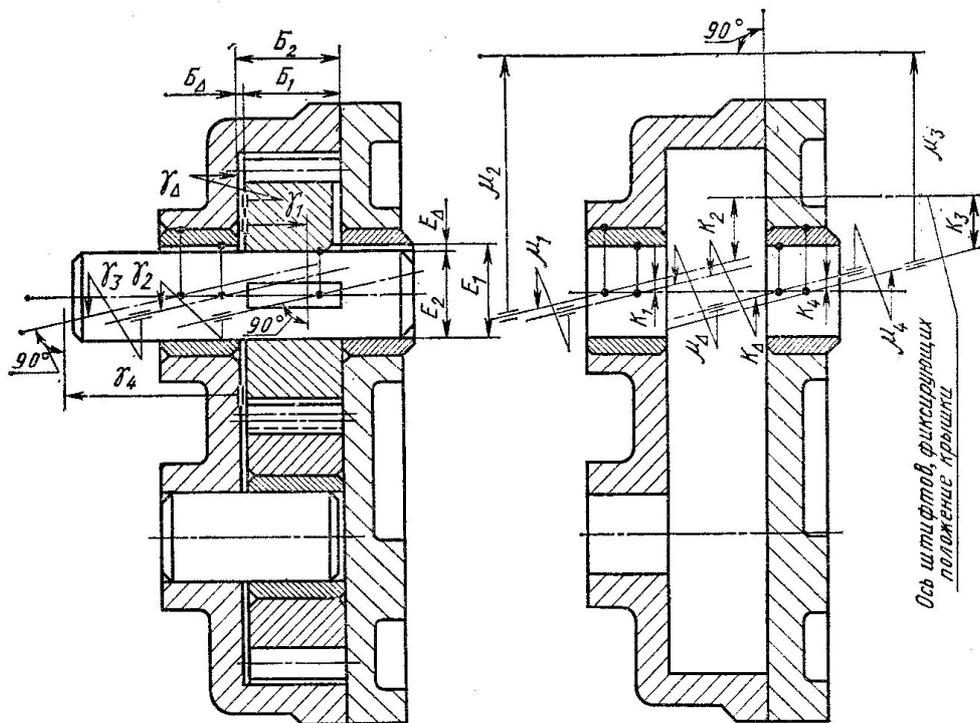


Рис. 1.7. Размерные цепи шестеренного насоса, определяющие легкость вращения шестерни

Номинал замыкающего звена согласно чертежам деталей

$$A_{\Delta} = -48,75 + 0 + 0 + 0 + 48,75 = 0.$$

Поле допуска замыкающего звена, если обеспечивать его точность по методу полной взаимозаменяемости:

$$\delta_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_{A_i} = 0,017 + 0,03 + 0,072 + 0,05 + 0,05 = 0,219 \text{ мм}.$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$\Delta 0_{A_{\Delta}} = -\Delta 0_{A_1} + \Delta 0_{A_2} + \Delta 0_{A_3} + \Delta 0_{A_4} + \Delta 0_{A_5};$$

$$\Delta 0_{A_{\Delta}} = 0,008 + 0 + 0 + 0 + 0,1 = 0,108 \text{ мм}.$$

Верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена

$$\Delta_{B_{A_{\Delta}}} = 0,108 + 0,219 / 2 = 0,218 \text{ мм};$$

$$\Delta_{H_{A_{\Delta}}} = 0,108 - 0,219 / 2 = 0,002 \text{ мм}.$$

в то время как техническими требованиями на насос зазор задан в пределах 0,07...0,15 мм (см. рис. 1.5).

Таким образом, при допусках на размеры деталей, заданных чертежами, рассчитывать на достижение требуемого значения радиального зазора методом полной взаимозаменяемости не приходится.

Проверим возможность достижения радиального зазора в требуемых пределах по методу неполной взаимозаменяемости при риске 0,27% ($t=3$) и при условии, что рассеяние погрешностей составляющих звеньев подчинено закону Гаусса ($\lambda_{A_i}^2 = 1/9$). При этом целесообразно несколько уменьшить зазор в подшипниках, значение которого обычно назначают для насоса среднего давления в пределах 0,002...0,003 диаметра вала. Для вала диаметром 15 мм можно считать допустимым зазор в подшипниках 0,03...0,045 мм. Изменив значение δ_{A_3} , можно ожидать, что при достижении точности радиального зазора по методу неполной взаимозаменяемости отклонения A_{Δ} будут находиться в пределах

$$\delta_{A_{\Delta}} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_{A_i}^2 \delta_{A_i}^2} = 3 \sqrt{\frac{1}{9} (0,017^2 + 0,03^2 + 0,45^2 + 0,05^2)} = 0,09 \text{ мм},$$

причем $\Delta_{eA_{\Delta}} = 0,018 + 0,09 / 2 = 0,153 \text{ мм}$

и $\Delta_{HA_{\Delta}} = 0,018 - 0,09 / 2 = 0,063 \text{ мм}.$

Итак, можно считать, что радиальный зазор в насосе можно обеспечить по методу неполной взаимозаменяемости при риске 0,27%. При заданном масштабе выпуска такой риск вполне приемлем.

Таким образом, должны быть найдены методы решения каждой из сформулированных выше задач, и если это требуется, внесены соответствующие коррективы в чертежи деталей насоса.

Кроме нахождения метода решения каждой из возникших задач, размерный анализ помогает разобраться в последовательности сборки узла. Например, последовательность сборки насоса рассматриваемой конструкции существенно зависит от того, каким методом удастся обеспечить соосность отверстий подшипников скольжения валика. Проанализируем этот вопрос.

Минимальный зазор в подшипниках, как установлено выше, должен быть 0,03 мм. Толщина масляного слоя в любой точке касания валика должна быть не менее 0,01 мм. Следовательно, на компенсацию несоосности отверстий втулок остается не более $0,03 - 0,01 = 0,02$ мм. Несоосность отверстий втулок складывается из относительного смещения и поворота их осей в двух координатных плоскостях (см. рис. 1.7). Даже если полностью использовать минимальный зазор в подшипниках для компенсации погрешностей двух видов только в одной из координатных плоскостей, и то допуски замыкающих звеньев размерных цепей K и μ получатся $\delta_{K\Delta} = 0,01$ мм и $\delta_{\mu\Delta} = 0,01 / 45$ мм.

Согласно допускам на размеры деталей (табл. 1.3), заданным в чертежах, можно ожидать отклонения K_{Δ} и μ_{Δ} :

$$\delta'_{K\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta'_{Ki} = 0,05 + 0,07 + 0,15 + 0,05 = 0,32 \text{ мм,}$$

$$\delta''_{K\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta''_{\mu\Delta} = 0,02 + 0,10 + 0,07 + 0,02 = 0,21 / 45 \text{ мм.}$$

Таблица 1.3

Допуски на размеры деталей

Звено	K_1	K_2	K_3	K_4	μ_{i1}	μ_{i2}	μ_{i3}	μ_{i4}
Допуск, мм	0,05	0,07	0,15	0,05	0,02/45	0,10/45	0,07/45	0,02/45

Ясно, что при отклонениях K_{Δ} и μ_{Δ} в таких пределах нельзя использовать ни один из методов взаимозаменяемости для обеспечения требуемого зазора в подшипниках. Нельзя также ужесточать допуски, т.к. это сильно усложнит изготовление деталей.

Обеспечить соосность отверстий втулок методом регулирования, перемещая крышку относительно корпуса и фиксируя ее штифтом по достижении требуемого положения, также невозможно. Такой прием не компенсирует погрешности относительного поворота осей отверстий, которые,

как показал расчет, могут быть значительными. Следовательно, возникшую задачу даже при заданном масштабе выпуска приходится решать методом пригонки. Наиболее целесообразно растачивание, позволяющее не только получить необходимую точность размеров, формы и шероховатость поверхностей отверстий, но и повысить точность их относительного положения.

Сборку насоса следует производить в следующем порядке. В окончательно обработанные корпус и крышку необходимо запрессовать втулки подшипников, собрать корпус с крышкой, поставить контрольные штифты, фиксирующие положение крышки относительно корпуса, и обработать окончательно втулки. После этого следует снять крышку с корпуса, установить в корпус детали насоса и снова поставить крышку на место.

В процессе разработки технологического процесса сборки любой сборочной единицы возникают задачи, от решения которых существенно зависит построение технологических процессов изготовления деталей. Именно на этапе разработки технологического процесса изготовления машины или узла очень важна увязка технологических процессов изготовления деталей со сборкой изделия. Например, решение об обеспечении соосности отверстий во втулках насоса методом пригонки требует выбора технологических баз для окончательной обработки втулок, использование которых не нарушило бы точность других размеров корпуса и крышки. Значит, обработку отверстий во втулках следует вести от тех же технологических баз, что и обработку всех ответственных поверхностей корпуса. Это положение не должно быть упущено при разработке технологического процесса изготовления корпуса, и для обработки корпуса должны быть выбраны такие технологические базы, которые можно использовать при совместной обработке отверстий во втулках корпуса и крышки. В качестве технологических баз удобнее всего использовать поверхности бобышек (установочная база) и двух отверстий в них (направляющая и опорная базы), предназначенных для крепления к корпусу насоса стопорных пластин. Но для этого указанные поверхности должны быть достаточно точно обработаны, чтобы погрешности установки детали на операциях не превысили требуемых норм. Установить требуемую точность поверхностей технологических баз нетрудно, если вскрыть и проанализировать размерные цепи систем станок-приспособление-инструмент-заготовка, на которых будет осуществляться обработка наиболее ответственных поверхностей корпуса насоса (отверстий под втулку подшипника и ось, гнезд под зубчатые колеса и торцовой поверхности).

Исходя из конструкции объекта сборки, масштаба его выпуска и числа собираемых объектов по неизменяемым чертежам, можно ориентировочно наметить форму и вид организации процесса сборки насоса. Сравнительно простая конструкция насоса, малые габариты, небольшая масса и в то же время значительный масштаб выпуска указывают на то, что наиболее подходящей является поточная сборка. Транспортировать собираемый объект с одного рабочего места на другое удобнее с помощью непрерывно движущегося конвейера.

Для облегчения труда сборщиков и повышения его производительности при заданных масштабах выпуска и серийности можно применить не только универсальную, но и специальную технологическую оснастку. Например, для запрессовки втулок подшипников в корпус и крышку лучше всего использовать пневматический пресс [3, 5].

Для напрессовки зубчатого колеса (см. рис. 1.5) на валик 4 следует предусмотреть приспособление, которое позволило бы обеспечить с необходимой точностью размер D_2 (см. рис. 1.6). Допуск на это звено должен быть установлен, исходя из требования к точности D_Δ с учетом точности остальных звеньев D_i . Чтобы при запрессовке не была испорчена цилиндрическая поверхность валика, зубчатое колесо перед запрессовкой необходимо нагреть. Поэтому в номенклатуру оборудования участка сборки насоса надо включить нагревательную установку с масляной ванной.

Итогом всей проделанной работы по разработке технологического процесса сборки насоса является технологическая карта сборки шестеренного насоса (табл. 1.4). В отличие от схемы сборки в технологической карте сборки для удобства планирования и организации сборочного процесса сборка комплектов отделена от общей сборки насоса.

В табл. 1.4 дано лишь краткое содержание операций без перечислений всех работ, составляющих их. Например, операция 1 сборки подузла 1 предусматривает установку корпуса в приспособлении, установку крышки и шайб, наживление болтов, выверку положения крышки относительно корпуса, довертывание болтов и съем детали. В соответствии с содержанием операции определена норма штучного времени.

Так как сборка насоса не прерывается сборкой других изделий и сборщикам не нужно знакомиться с технической документацией, получать полуфабрикаты, инструмент, то подготовительно-заключительное время в технологической карте не приведено. Время обслуживания рабочего места и время перерывов учтено при нормировании в размере 6% оперативного времени.

Таблица 1.4

Технологическая карта сборки шестеренчатого насоса (см. рис. 1.5)

№ п/п	Операция	Инструмент		Оборудование и приспособление	Разряд рабочего	Норма штучного времени
		режущий и монтажный	контрольно-измерительный			
<i>Сборка комплекта 1</i>						
1	Запрессовать втулку в корпус 1	–	–	Пневматический пресс	1	0,59
<i>Сборка комплекта 2</i>						
1	Запрессовать втулку 5 в крышку 12	–	–	Пневматический пресс	1	0,59
<i>Сборка и разборка подузла 1</i>						
1	Присоединить к корпусу крышку 12 четырьмя винтами 10, поставив предварительно шайбы 11	–	Приспособление для выверки положения крышки	Четырехшпindelный винтоверт	1	0,96
2	Просверлить в корпусе 1 два отверстия $\varnothing 7,8^{+0,02}$ мм	Сверло $\varnothing 7,8$	–	Вертикально-сверлильный станок, приспособление	1	1,98
3	Развернуть в корпусе 1 два отверстия $\varnothing 8_{-0,028}^{-0,012}$ под штифты 17	Спец. развертка	Предельный калибр	То же	1	0,46
4	Установить два штифта 17	Молоток	–	–	1	0,32
5	Расточить втулки подшипников $\varnothing 15_{+0,09}^{+0,06}$ мм	Алмазный резец	Предельный калибр	Алмазно-расточной станок, приспособление	2	1,02
6	Пометить крышку по корпусу, разобрать подузел 1	–	–	Четырехшпindelный винтоверт	1	1,10
				<i>Итого</i>	<i>5,84</i>	

Окончание табл. 1.4

№ п/п	Операция	Инструмент		Оборудование и приспособление	Разряд рабочего	Норма штучного времени
		режущий и монтажный	контрольно-измерительный			
<i>Сборка комплекта 3</i>						
1	Установить валик 4 в приспособление, поставить шпонку 18, напрессовать зубчатое колесо 6	–	–	Масляная ванна, приспособление	1	0,85
<i>Общая сборка насоса</i>						
1	Запрессовать ось 8 в корпус 1	–	–	Камера для охлаждения валика, приспособление	1	0,80
2	Установить в корпус 1 комплект 3, посадить ведомое зубчатое колесо 2 привода и зафиксировать его штифтом 3	Молоток	–	–	1	1,16
3	Посадить ведомое зубчатое колесо 7 насоса	Молоток	–	–	1	0,22
4	Присоединить к корпусу 1 крышку (комплект 2) четырьмя винтами 10 с шайбами 11	–	–	Четырехшпindelный винтоверт	1	0,96
5	Установить стопорные пластины 14, прикрепить их к корпусу болтами 13	–	–	Пневматический ключ	1	1,32
6	Установить прокладку 16 и присоединить трубу приемника 15 винтами 19 с шайбами 20	–	–	Пневматический ключ	1	1,01
				<i>Итого</i> <i>Общая трудоемкость</i>		<i>5,47</i> <i>13,34</i>

При заданной программе и двухсменной работе такт T выпуска насосов

$$T = \frac{\Phi}{N} = \frac{4015 \cdot 60}{100000} = 2,41 \text{ мин/шт.},$$

где Φ – фонд времени, ч.

Число рабочих, необходимое для выполнения заданной программы,

$$q = \frac{T_o - T_c}{(T - t_{II})\gamma},$$

где T_o – трудоемкость операции, мин; T_c – трудоемкость совмещенных операций, мин; t_{II} – время, затрачиваемое на перемещение объекта сборки с операции на операцию; γ – число параллельных потоков.

При отсутствии совмещенных во времени операций, при совмещении времени транспортирования собираемых насосов с оперативным временем и одним потоке

$$q = T_o / T = 13,34 / 2,41 = 5 \text{ раб.}$$

Чтобы примерно одинаково загрузить сборщиков работой, операции по сборке насоса можно распределить, как указано в табл. 1.5. Рабочие на 2, 3, 4 и 5-м рабочих местах немного перегружены. Для более равномерной загрузки сборщиков следует повысить режимы работы оборудования и наметить приспособления, способствующие увеличению производительности труда рабочих на этих местах.

Таблица 1.5

Распределение работы между сборщиками

Номер рабочего места	Работа, выполняемая на каждом рабочем месте	Трудоемкость, мин
1	Сборка комплектов 1 и 2, сборка подузла 1, операция 1	2,14
2	Сборка подузла 1, операция 2...4	2,76
3	Сборка подузла 1, операция 5 и 6, сборка комплекта 3	2,87
4	Общая сборка насоса, операции 1, 2 и 6	2,97
5	Общая сборка насоса, операции 3...5	2,50

2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАШИН

2.1. Погрешности сборочных процессов

Погрешности замыкающих звеньев размерных цепей машины возникают в зависимости от разных причин. Большую роль играют погрешности самих деталей, поступающих на сборку. Погрешности формы, поворота и расстояния поверхностей деталей, неизбежно допускаемые в процессе изготовления, существенно влияют на действительные размеры деталей в машине. Необходимо иметь в виду, что действительные значения составляющих звеньев размерных цепей образуются только в процессе сборки машины, в момент осуществления контакта сопрягаемых деталей и фиксации тем или иным путем достигнутого положения деталей.

Точность детали, находящейся вне машины, предопределяет пределы, в которых могут проявиться погрешности размеров детали при установке в машину. При сборке же машины из многочисленных возможных действительных размеров детали определяются единственные значения, при которых рассматриваемая деталь и будет работать в машине. Следовательно, возникновение действительных погрешностей звеньев, составляющих размерную цепь, необходимо отнести к моменту соединения деталей.

Помимо погрешностей самих деталей, при сборке машины возможны погрешности, причинами возникновения которых являются:

- ошибки, допускаемые рабочими при ориентации и фиксации достигнутого положения монтируемых деталей;
- погрешности установки калибров и измерительных средств, применяемых сборщиками в процессе сборки, погрешности регулирования, пригонки и контроля точности положения деталей в машине, достигнутого при сборке, а также собственные погрешности измерительных средств;
- относительные сдвиги деталей в промежутке времени между достижением ими требуемого положения и фиксацией достигнутого положения; попадание грязи и стружки в стыки деталей; образование задиров на поверхностях сопряжения деталей.

Собирая машину или узел вручную, о правильности ориентации и соединения деталей сборщик чаще судит на основе своих наблюдений и ощущений, но даже сборщики очень высокой квалификации не в состоянии уследить за всеми дефектами сборки, т.к. острота восприятия их человеком ограничена.

Немалую долю в общей сумме составляют погрешности сборки машины, вызываемые упругими деформациями деталей при фиксации их от-

носительного положения. Затяжка винтов и гаек может деформировать собираемые детали, привести к смене баз деталей и нарушить точность их относительного положения, а также плотность соединения. Кроме того, значительные нагрузки вызывают остаточные деформации (смятие) в точках контакта сопрягаемых деталей, что также влияет на точность соединения деталей.

Чтобы избежать существенного влияния перечисленных факторов, необходимо производить затяжку винтов и гаек не только в определенной последовательности, но и с требуемой силой, не превышающей предела, за которым следует разрушение крепежных деталей или чрезмерная деформация стыков.

Для создания одинаковой и требуемой силы затяжки винтов и гаек используют различные ключи, винтоверты, гайковерты и другие инструменты, которые снабжены устройствами, ограничивающими прилагаемые крутящие моменты. Конструкции различного слесарного инструмента и приспособлений приведены в работах [3, 5].

Инструменты и приспособления ограничивают прилагаемые при завинчивании моменты, но не учитывают колебаний моментов сопротивления в резьбовых парах. При постоянном крутящем моменте, прикладываемом к винту или гайке, и переменном моменте сопротивления в резьбе сила затяжки, создаваемая винтом или гайкой, строго говоря, не будет постоянной. Поэтому там, где требуется крепление детали с очень малым колебанием силы затяжки, инструменты, ограничивающие прикладываемый крутящий момент, оказываются непригодными. В этих случаях нужны приборы и устройства, непосредственно измеряющие и ограничивающие силу затяжки или позволяющие устанавливать крутящий момент в зависимости от требуемой силы затяжки и момента сопротивления, возникающего в конкретной резьбовой паре.

Достижение точности машин методами регулирования или пригонки сопровождается обычно контролем точности выполненных операций. Как и всякий контроль с помощью измерительных средств или калибров, контроль при сборке сопряжен с погрешностями установки измерительных средств или калибров, погрешностями их статической настройки. Погрешности, допускаемые при контроле, целиком переносятся на собираемый объект, снижая его точность.

Менее изученными, но, несомненно, имеющими значение, являются погрешности сборки, вызываемые относительным сдвигом деталей в промежутке времени между достижением ими требуемого положения и фиксацией достигнутого положения. Причинами возникновения погрешностей

такого рода являются: удары, толчки и сотрясения, которым может подвергаться объект сборки во время транспортирования на рабочие места, где осуществляют фиксацию положения деталей, достигнутого на предшествующих операциях; удары и толчки при установке объекта сборки в приспособление для сверления отверстий под штифты; силы резания, возникающие при сверлении отверстий под штифты.

Разработке мер по ограничению погрешностей сборочных процессов может способствовать глубокий анализ причин возникновения погрешностей, проводимый при разработке технологического процесса сборки машин. Допуски на изготовление деталей машин следует назначать одновременно и в неразрывной связи с назначением допусков на сборку машины и ее сборочных единиц. Помимо этого, необходимо шире внедрять контроль качества сборки на операциях. Дополнительные затраты средств на введение контрольных операций в большинстве случаев окупаются сокращением брака сборки и времени, затрачиваемого на отладку и освоение изготовленных машин.

Контроль качества выполнения сложных сборочных операций считается обязательным. В зависимости от сложности и ответственности собираемых узлов или машин, а также масштаба выпуска контролю можно подвергать все изделия или на выборку определенное число их.

Основными видами контроля качества машин при сборке являются наружный осмотр и оценка качества на основе ощущений, контроль точности машин и их узлов с помощью различных технических средств и испытания машин. Несмотря на несовершенство и субъективность оценки качества сборки машин и их узлов на основе ощущений этот вид контроля играет чрезвычайно важную роль и необходим на протяжении всего процесса сборки изделий. Выявление царапин, забоин, коррозии, окалины и загрязненности поверхностей монтируемых деталей, контроль наличия прокладок, шайб и т.д., проверка «качки» деталей, легкости хода, шума зубчатых колес и т.п. должны выполнять не только контролеры на контрольных постах, но и сами сборщики при выполнении сборочных операций.

2.2. Методы контроля точности машин и их узлов

Контроль, которому подвергают каждый узел и каждую изготовленную машину, имеет целью проверить соответствие точности формы, относительного положения и перемещения их исполнительных поверхностей установленным нормам. Эффективность всякого контроля тем выше, чем ближе результаты измерений контролируемых параметров к их действи-

тельными значениями. Степень приближения измеренного значения к действительному зависит от следующих факторов:

- раскрытия смысла контролируемого параметра и явлений, порождающих возникновение погрешностей;
- правильности выявления взаимосвязи различных параметров и умения выделить контролируемый параметр;
- правильности выбора или разработки средств контроля; техники осуществления контроля.

Правильная и четкая терминология раскрывает смысл контролируемого параметра. Основные термины, характеризующие отклонения формы, относительное положение и перемещение поверхностей деталей, установлены ГОСТ 24642-81 [6].

Однако для успешного осуществления контроля еще недостаточно понимать смысл контролируемого параметра. Необходимо видеть и учитывать взаимосвязь контролируемого параметра с другими параметрами, влияющими на точность машины. Например, точность определения расстояния между двумя плоскими поверхностями детали зависит от точности поворота и формы этих поверхностей. Поэтому в первую очередь необходимо контролировать форму, затем поворот и в последнюю очередь расстояние между плоскими поверхностями детали.

Согласно определению (ГОСТ 2.308-79), радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от цилиндричности поверхности и несовпадения оси контролируемой поверхности с осью вращения детали. Это несовпадение складывается из относительного смещения и поворота осей 1 и 2 в пространстве (рис. 2.1).

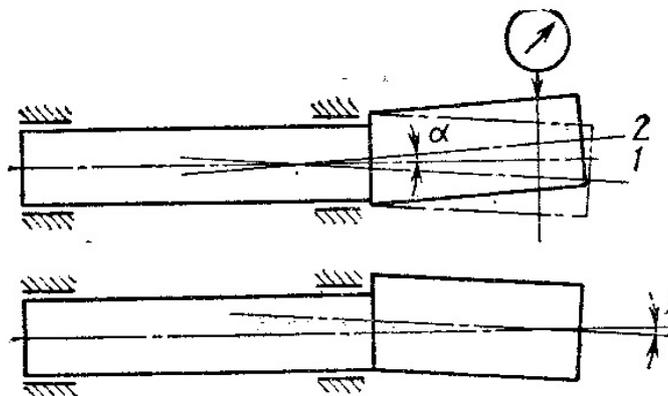


Рис. 2.1. Несососность шеек вала в двух координатных плоскостях

Поэтому судить о радиальном биении какой-либо поверхности детали можно не вообще, а лишь применительно к сечению, в котором осуществляется контроль.

Чтобы получить при контроле наиболее полное представление о значении контролируемого параметра, необходимо исключить, насколько это возможно, влияние погрешностей взаимосвязанных с ним параметров.

Например, соосность переднего и заднего центров токарного станка обычно проверяют с помощью оправки, закрепляемой в центрах. Перемещая вдоль по оправке расположенные в двух координатных плоскостях и установленные на суппорте индикаторы, судят о величине и направлении отклонения от соосности центров (рис. 2.2, а).

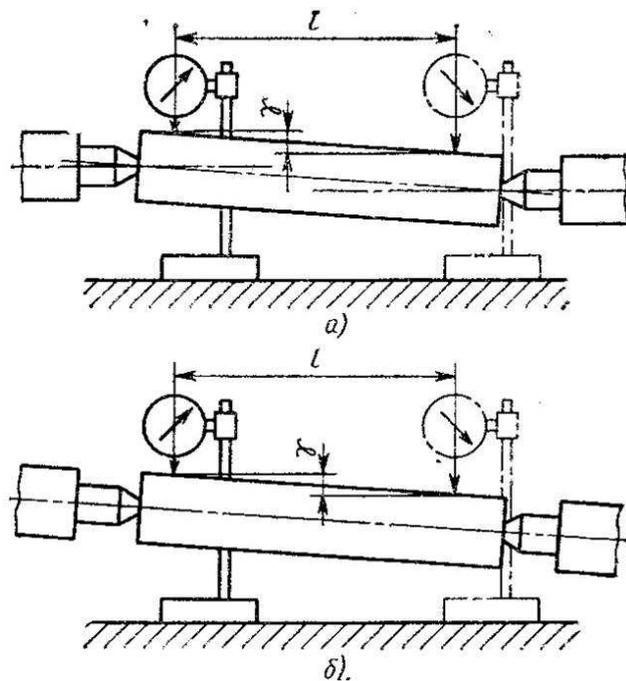


Рис. 2.2. Проверка соосности центров токарного станка с помощью оправки:
 l – длина измерения; γ – разность показаний индикаторов

Но аналогичные показания могут дать индикаторы при наличии поворота оси оправки относительно направляющих станины при абсолютной соосности центров (см. рис. 2.2, б). Поэтому прежде чем приступить к проверке совпадения осей центров в передней и задней бабках токарного станка, необходимо обеспечить параллельность осей отверстий под центры в шпинделе и пиноли в более жестких пределах по сравнению с допустимым отклонением от соосности центров.

Контроль некоторых параметров требует материализации геометрических представлений. Нельзя, например, непосредственно измерить рас-

стояние между осями двух отверстий в деталях машины, поскольку оси отверстий являются геометрическим образом, в природе их не существует, или невозможно измерить отклонение от плоскостности поверхности детали без материализации идеальной плоскости, проходящей через три выступающие точки контролируемой поверхности. Геометрические представления материализуют с помощью специальных деталей или устройств. Так, чтобы измерить расстояние между осями отверстий в корпусной детали, в отверстия вставляют оправки, измеряют расстояние между их образующими и делают соответствующий пересчет. Идеальную плоскость при определении отклонения от плоскостности поверхности детали воспроизводят с помощью контрольной плиты.

Так как все это связано с введением в измерительные размерные цепи дополнительных звеньев, имеющих погрешности, то большое значение имеет собственная точность всех деталей и устройств, используемых при проверках, а также точность их установки. При этих условиях считается допустимой погрешность познания контролируемого параметра, не превышающая 10 ... 20% его поля допуска.

2.3. Испытание машин

Целью испытания машин является проверка правильности работы и взаимодействия всех механизмов машин, проверка ее мощности, производительности и точности. Таким образом, испытания машины являются проверкой качества машины, полученного в результате всего производственного процесса ее изготовления.

В зависимости от вида, назначения и масштаба выпуска машины проходят испытания на холостом ходу (проверка работы механизмов и паспортных данных) и в работе под нагрузкой, а также испытания на производительность, жесткость, мощность и точность.

При *испытании на холостом ходу* проверяют все включения и переключения органов управления и механизмов машины, правильность их взаимодействия и надежность блокировки, безотказность действия и точность работы автоматических устройств. Вместе с тем проверяют соблюдение норм правильности работы подшипников, зубчатых колес. Например, для станков после 2 ч работы на холостом ходу при наибольшей частоте вращения шпинделя допускается разогрев подшипников скольжения до 60°C, подшипников качения до 70°C, в других механизмах станков температура подшипников не должна превышать 50°C. Шум зубчатых колес коробок скоростей, подач и других механизмов станка проверяется в тихом помещении в соответствии с действующими стандартами и техническими условиями.

Испытания машин под нагрузкой должны выявить качество ее работы в производственных условиях, поэтому для машины создают условия, близкие к условиям эксплуатации. Например, двигатель внутреннего сгорания устанавливают на специальную раму, а вал двигателя присоединяют к тормозному устройству, позволяющему создавать переменные нагрузки. К двигателю подключают системы охлаждения, масляную и топливную аппаратуру. При проведении испытаний определяют эксплуатационные характеристики двигателя, расход топлива, масла.

Под нагрузкой на определенных режимах, устанавливаемых техническими условиями или правилами, испытывают все машины.

Испытанию на производительность подвергают обычно не все машины, а лишь машины специального назначения и опытные образцы. В процессе испытания выявляют, соответствует ли производительность изготовленной машины требованиям заказа, обладает ли машина требуемой скоростью.

Испытания на жесткость. На жесткость испытывают главным образом станки. В настоящее время нормы жесткости и методы испытания широкого круга станков стандартизованы.

Испытания на мощность. Этим испытаниям подвергают все машины при единичном производстве и все или выборочно машины, изготавливаемые серийно. Не испытывают на мощность машины простейшей конструкции, а также машины, заведомо обладающие большим запасом мощности. Цель испытания машины на мощность – определить ее КПД при максимально допустимой нагрузке. Нагрузку машине создают с помощью специальных тормозных устройств, которые воспроизводят максимальные силы и моменты, соответствующие возникающим при эксплуатации машины.

Испытание на точность. На точность испытывают обычно машины, которые производят, сортируют и контролируют продукцию (станки, прессы и др.). Контроль машин на точность должен дать заключительную оценку качеству машины – ее способности производить продукцию требуемого качества. Поэтому оценку точности машин при проведении испытаний дают по результатам ее действия: по точности изготовленных деталей, по точности выполнения сортировки, контроля.

Для оригинальных машин программу и режимы испытаний разрабатывают в зависимости от их назначения, конструкции и требуемой точности.

3. ОСОБЕННОСТИ ДОСТИЖЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН

3.1. Монтаж валов

Валы в машинах предназначены для базирования вращающихся деталей (втулок, зубчатых колес, маховиков, муфт), для базирования заготовок изготавливаемых деталей или инструмента (шпиндели станков), для передачи крутящего момента и преобразования вращательного движения в поступательное (коленчатые, эксцентриковые и кривошипные валы).

Основными показателями качества монтажа вала являются:

- легкость вращения вала в подшипниках;
- отсутствие вибраций при вращении;
- радиальное и осевое биения, не превышающие установленного предела;
- точность положения вала относительно основных баз корпуса, в котором смонтирован вал.

Степень точности монтажа валов зависит от их служебного назначения. Характер опор валов создает различие в монтаже, поэтому целесообразно рассмотреть отдельно монтаж валов на опорах скольжения и на опорах качения.

Монтаж валов на опорах скольжения. Одним из основных условий, определяющих качество работы вала в машине на опорах скольжения, является обеспечение гарантированного зазора между опорными шейками вала и рабочими поверхностями втулок подшипников. Зазор определяет служебное назначение вала. Например, если надо создать точное центрирование вала и высокую виброустойчивость, то назначают посадки, обеспечивающие малый зазор в соединении деталей. Если вал должен работать при больших угловых скоростях и сравнительно невысоком давлении в подшипниках, выбирают посадки с большим зазором. Легкость вращения вала на опорах скольжения зависит от зазора между поверхностями сопряжения шеек вала и подшипников и от сохранения его при вращении вала.

В общем случае при монтаже валов возможны следующие погрешности подшипников и опорных шеек вала, которые могут привести к нарушению допустимого зазора:

- отклонения формы поверхностей шеек вала и втулок в осевом и поперечном сечениях (конусообразность, бочкообразность, корсетность, овальность, огранка);

– отклонение от соосности и скрещивание в пространстве осей отверстий втулок подшипников и осей опорных шеек вала.

В настоящее время нет достаточно обоснованной методики задания допусков на отклонения формы и относительного положения рабочих поверхностей подшипников и опорных шеек вала. Но несомненно, что ограничение допусками отклонений сопрягаемых поверхностей от правильной геометрической формы и правильного относительного положения в пространстве должно быть увязано с соблюдением зазора в требуемых пределах. При малых гарантированных зазорах в подшипниках совокупное действие перечисленных выше отклонений повышает опасность заклинивания или появления тугого хода вала при вращении.

Говоря о радиальном биении вала, необходимо уточнять, биение какой из его поверхностей имеется в виду, т.к. каждая поверхность вала имеет свою ось. Основными причинами радиального биения поверхностей валов являются их отклонения от соосности с поверхностями опорных шеек и погрешности формы опорных шеек валов и отверстий подшипников в поперечном сечении.

При монтаже вала на двух опорах радиальное биение любой его поверхности необходимо рассматривать как результат биения вала относительно каждой опоры. Например, радиальное биение поверхности конического отверстия шпинделя станка (рис. 3.1, а) складывается из радиального биения этой поверхности относительно передней (размерная цепь А) и задней опор шпинделя (размерная цепь Б). Здесь A_1 и B_1 – отклонения от соосности поверхности конического отверстия с опорными шейками вала, A_2 и B_2 – отклонения от соосности опорных шеек шпинделя с отверстиями подшипников.

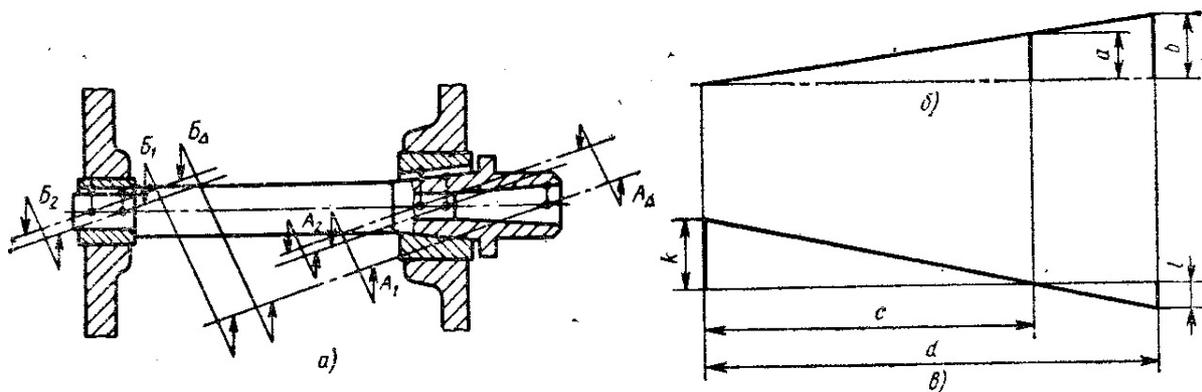


Рис. 3.1. Размерные цепи, определяющие радиальное биение конического отверстия шпинделя, установленного в опорах скольжения

При совмещении составляющих радиального биения вала в одной плоскости

$$\varepsilon = A_{\Delta} + B_{\Delta}.$$

Погрешности звеньев A_2 и B_2 зависят от расстояния между опорами шпинделя и от расположения сечения вала, в котором рассматривается радиальное биение какой-либо его поверхности, относительно опор. Если предположить, что в задней опоре несовпадение осей опорной шейки вала с осью отверстия равно нулю, а в передней – величине a , то несовпадение оси вала с осью его вращения на переднем его конце будет равно b (см. рис. 3.1, б). Из подобия треугольников следует, что биение переднего конца вала увеличивается в q_1 раз:

$$b = ad / c = aq_1.$$

Наоборот, биение вала только в задней опоре передается на передний конец уменьшенным в q_2 раз (рис. 3.1, в). Действительно,

$$i = k \frac{d - c}{c} = kq_2.$$

Рассмотренные зависимости следует учитывать при назначении допусков введением соответствующих коэффициентов (передаточных отношений) в уравнения размерных цепей A и B :

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2q_1, B_{\Delta} = B_1 + B_2q_2.$$

Осевое перемещение валов, смонтированных на опорах скольжения, возникает из-за зазоров между торцами опор и вала или деталей, сидящих на нем, а также вследствие отклонений от перпендикулярности торцовых поверхностей опор и вала (или деталей, сидящих на нем) к оси вращения вала.

У большинства машин требуемые зазоры между торцами опор и вала обеспечиваются при сборке методом регулирования. В связи с этим для линейных размеров валов и деталей опор устанавливают довольно широкие допуски.

Что касается отклонений от перпендикулярности торцовых поверхностей оси вращения вала, то здесь необходимо учитывать следующие особенности:

– осевое перемещение вала возможно только в том случае, если каждая из соприкасающихся торцовых поверхностей имеет отклонения от перпендикулярности;

– если же отклонение от перпендикулярности оси вращения шпинделя имеет только одна из соприкасающихся поверхностей, то вал не будет иметь осевого перемещения (рис. 3.2, а);

– из отклонений от перпендикулярности двух соприкасающихся поверхностей в образовании осевого перемещения вала участвует только меньшее по значению отклонение; так, в случаях, приведенных на рис. 3.2, б, вал при вращении может иметь осевое смещение, равное погрешностям ω_1 и ω_4 , измеряемым индикаторами.

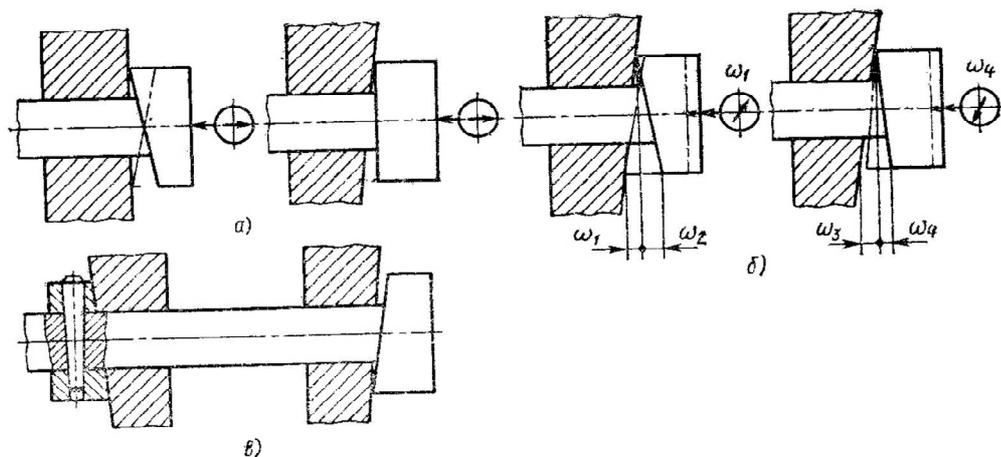


Рис. 3.2. Возникновение осевого перемещения и заклинивания вала

Отклонения от перпендикулярности соприкасающихся торцов вала и опор оси вращения вала нередко приводят к тугому ходу вала. Тугой ход вала и даже заклинивание возможны также, если во время монтажа вала в подшипниках зазор между торцами вала и опор будет выбран при отклонениях от перпендикулярности каждой пары сопрягающихся торцов, направленных в одну сторону (см. рис. 3.2, в). Уменьшение осевого биения валов может быть достигнуто:

– ужесточением допуска на отклонение от перпендикулярности одного торца к оси вращения вала в каждой паре соприкасающихся деталей; ужесточение допуска целесообразно производить для той детали пары, которую легче изготовить с более высокой точностью;

– сокращением числа пар соприкасающихся торцовых поверхностей.

Подшипники скольжения могут быть цельными и разъемными. В первом случае подшипник представляет собой цельную втулку, запрессованную в корпус, во втором случае каждая втулка состоит из двух частей -

вкладышей. Запрессовка цельных втулок в корпус обычно сопровождается их деформацией. Собственные погрешности корпуса и втулок и деформации втулок создают необходимость исправления размеров, формы и относительного положения рабочих поверхностей втулок после их постановки в корпус. Для исправления указанных погрешностей применяют развертывание отверстий комбинированными развертками или тонкое растачивание. Для окончательной обработки отверстий втулок после запрессовки иногда применяют калибрование шариком или пуансоном. Обеспечивая точный размер, требуемые форму и шероховатость поверхностей отверстий, калибрование не исправляет погрешностей относительного положения отверстий втулок, поэтому его применение ограничено.

Все виды погрешностей втулок можно устранить шабрением. Шабрение втулок неразъемных подшипников чаще применяют в мелкосерийном и единичном производствах, а также при изготовлении тяжелых машин, имеющих подшипники больших размеров. При шабрении специальными оправками на обрабатываемую поверхность наносят краску. Шабрение ведут до получения равномерного распределения краски на 80% обрабатываемой поверхности втулки. При повышенных требованиях к точности монтажа валов шабрение подшипников ведут по блеску (по блестящим точкам, появляющимся на поверхностях отверстий втулок при поворачивании в них неокрашенной оправки).

При высоких требованиях, предъявляемых в работе вала, в дополнение к шабрению производят притирку поверхностей сопряжения вала и втулок. Сначала отверстия притирают по специальному притиру – «ложному» валу, а заканчивают эту работу по рабочему валу.

Разъемные подшипники бывают с невзаимозаменяемыми и с взаимозаменяемыми вкладышами. В первом случае антифрикционный слой подшипника обрабатывают после установки вкладышей в корпус одним из рассмотренных выше методов, исправляя тем самым погрешности изготовления и монтажа вкладышей. Если же вкладыши взаимозаменяемые, то на сборку они поступают окончательно обработанными и качество монтажа играет решающую роль в достижении требуемой точности подшипника.

Для нормальной работы подшипника необходимо, чтобы его вкладыши полностью прилегли наружной поверхностью к основанию и крышке подшипника. В противном случае под действием сил, нагружающих вал, вкладыш будет периодически изменять форму, в результате не только нарушится правильность контакта вала с подшипником, но и может произойти отслаивание антифрикционного слоя. При неправильном прилегании вкладыша к корпусу или крышке нарушается теплоотдача от вкла-

дыша к корпусу, температура вкладышей повышается и создается опасность оплавления подшипников.

При установке невзаимозаменяемых вкладышей плотность их соприкосновения с основанием и крышкой достигается увеличенными натягами (0,05...0,1 мм). Посадочные гнезда под взаимозаменяемые вкладыши обрабатывают с повышенной точностью, а диаметральный натяг создают меньшим, не влияющим на точность рабочих поверхностей. Для этого вкладыши подбирают по гнездам с таким расчетом, чтобы после прижатия к поверхностям гнезд их края выступали над плоскостью стыка крышки на 0,05...0,1 мм. После затяжки болтов, крепящих крышку, за счет этих выступов создается посадка с натягом вкладышей в гнездах.

Если обработка резанием не в состоянии обеспечить жесткие допуски на отклонения от перпендикулярности соприкасающихся торцов вала (или деталей, сидящих на нем) и деталей опор к оси вращения вала, то требуемая точность относительного поворота торцовых поверхностей достигается шабрением.

Монтаж валов на опорах качения. Задачи, которые решались при сборке валов на опорах скольжения пригонкой, не могут быть решены тем же методом при сборке валов на опорах качения. Подшипники качения пригонке не поддаются, и сборка валов на подшипниках качения производится методами взаимозаменяемости и регулирования.

Для легкого вращения вала на опорах качения в подшипниках должен быть обеспечен радиальный зазор определенной величины. Подшипники средних размеров изготавливают с радиальным зазором 5...15 мкм. Подшипники качения соединяют с корпусом и валом обычно путем неподвижных посадок. Однако если посадку обоих колец осуществлять с натягом, то вследствие расширения внутреннего кольца и сжатия наружного шарика или ролики могут быть защемлены. Поэтому правильный выбор и соблюдение намеченных посадок подшипника на вал и в корпус являются чрезвычайно важными. Рекомендации по выбору посадок радиальных и радиально-упорных подшипников качения в зависимости от вида нагружения подшипников даны в ГОСТ 3325-55.

Значительные трудности при монтаже валов на опорах качения вызывает уменьшение радиального биения валов. В отличие от валов на опорах скольжения в образовании радиального биения участвует большее число звеньев: добавляется собственное биение подшипников – звенья A_2 , A_3 и B_2 , B_3 (рис. 3.3, а).

Как и при опорах скольжения, расстояние между подшипниками, а также положение сечения вала относительно переднего и заднего подшип-

ников, в котором определяется радиальное биение, влияют на радиальное биение вала в рассматриваемом сечении. Радиальное биение какой-либо поверхности вала можно уменьшить приданием определенного направления эксцентриситетам поверхностей вала. Например, эксцентриситет конического отверстия, шпинделя относительно передней опорной шейки (звено A_1 рис. 3.3, б) можно компенсировать эксцентриситетом внутреннего кольца подшипника относительно беговой дорожки наружного кольца (звенья A_2 и A_3), если направить эксцентриситеты в противоположном направлении в одной из плоскостей.

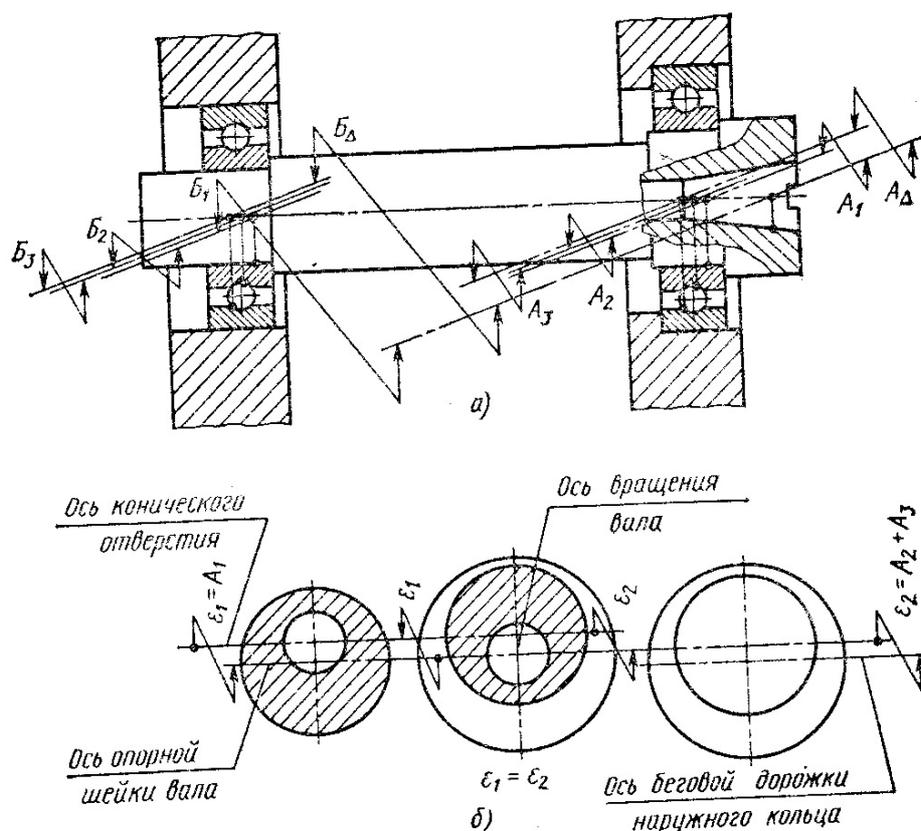


Рис. 3.3. Схема размерных цепей, определяющих радиальное биение конического отверстия шпинделя, смонтированного на опорах качения

В общем случае для уменьшения радиального биения какой-либо поверхности вала методом регулирования для каждой из опор необходимо:

- подобрать подшипники таким образом, чтобы эксцентриситеты отверстий внутренних колец по отношению к беговым дорожкам наружных колец были равны эксцентриситетам соответствующих опорных шеек вала по отношению к рассматриваемой поверхности или чтобы их разность была меньше установленного допуска на биение вала в каждой опоре;

– смонтировать опоры и вал так, чтобы эксцентриситеты взаимно компенсировались; для этого эксцентриситеты должны располагаться в каждой опоре в одной плоскости, но в различных направлениях.

Определение эксцентриситета отверстия шарикового подшипника по отношению к беговой дорожке его наружного кольца описано в работе [5].

Если радиальное биение e вала в опорах устранить полностью не удастся, то надо стремиться расположить его по одну сторону от оси вращения вала в каждой опоре. При этом желательно, чтобы биение вала в передней опоре было меньше, чем в задней. Это уменьшит радиальное биение конца вала (рис. 3.4, *a* и *б*). Наоборот, если требуется уменьшить радиальное биение середины вала, то радиальное биение вала в опорах необходимо направить в противоположные стороны от оси вращения (рис. 3.4, *в*).

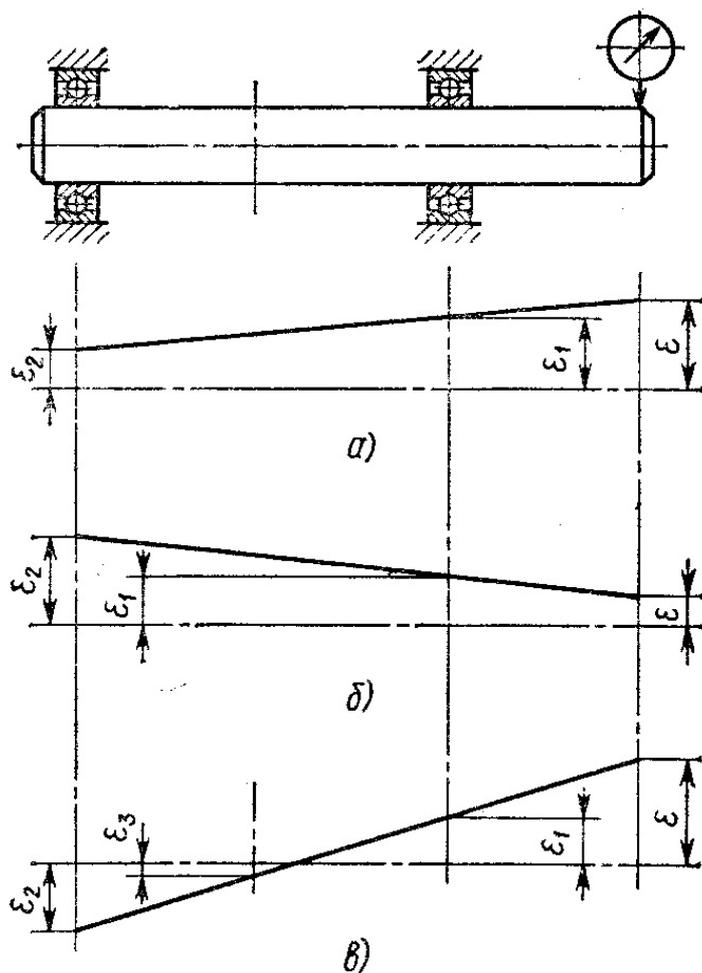


Рис. 3.4. Способы уменьшения радиального биения вала

При монтаже валов на опорах качения следует следить за тем, чтобы отклонение от параллельности оси вращения вала основным базам корпусной детали в двух координатных плоскостях не превышало установленных допусков.

Основными причинами таких отклонений могут быть:

- отклонения от параллельности отверстий под опоры вала в корпусной детали (рис. 3.5, *а*) основным базам;
- эксцентricность поверхностей наружных колец подшипников качения (рис. 3.5, *б*).

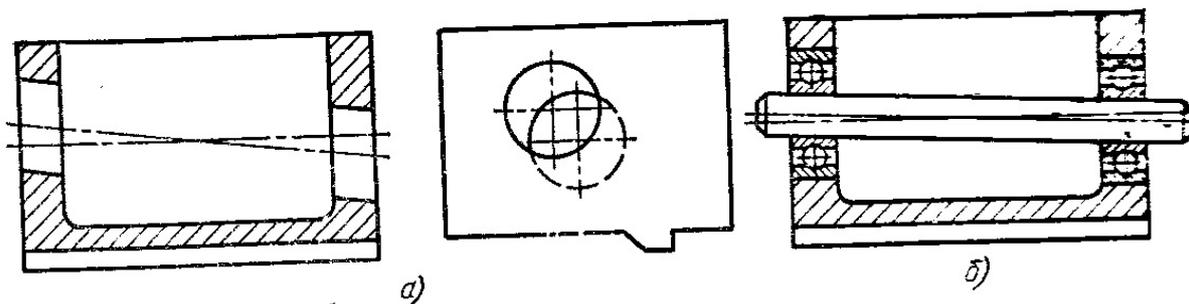


Рис. 3.5. Поворот оси вращения вала относительно основных баз корпуса

Чтобы совместить ось вращения вала с требуемым положением O , (рис. 3.6, *а*) при смещении оси отверстия O_2 в корпусе, равном ω_{\max} , необходимо:

- подобрать подшипник так, чтобы его наружное кольцо имело эксцентриситет ϵ_1 (рис. 3.6, *б*), равный ω_{\max} ;
- подметить радиальную плоскость, в которой ω_{\max} располагается у корпусной детали, со стороны, противоположной наибольшему смещению оси отверстия;
- найти у наружного кольца радиальную плоскость, в которой располагается наибольший эксцентриситет ϵ_1 , подметить эксцентриситет со стороны тонкой стенки;
- смонтировать подшипник так, чтобы погрешность эксцентриситета была направлена в сторону, противоположную ω_{\max} , т.е. чтобы совпали отметки на корпусе и наружном кольце подшипника (рис. 3.6, *в*).

При монтаже второй опоры все перечисленные операции повторяют.

Для правильной работы и надежного сопряжения подшипника с валом и корпусом большое значение имеет точность посадочных поверхностей вала и корпуса. Кольца подшипника вследствие деформации при по-

садке на вал и в корпус копируют погрешности отверстия в корпусе или шейки вала. Эти деформации искажают форму беговых дорожек колец и приводят к неравномерности радиального зазора в подшипнике. Конусообразность посадочных поверхностей вала и корпуса приводит к неравномерному натягу колен подшипника.

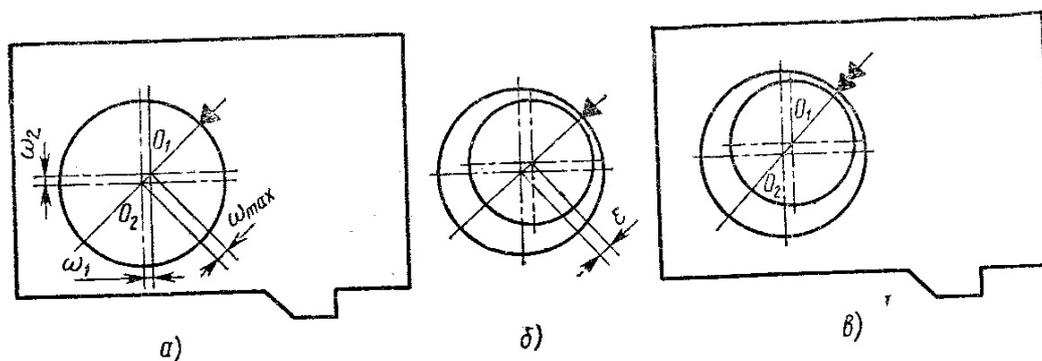


Рис. 3.6. Уменьшение погрешности поворота оси вращения вала относительно основных баз корпуса

Заплечики у вала и в отверстиях корпуса являются установочными базами для колец подшипников. Отклонения от перпендикулярности заплечиков к осям посадочных поверхностей вала и корпуса приводят к неправильному базированию колец подшипника и вызывают смещение шариков к краям беговых дорожек или точечный контакт роликов с поверхностями беговых дорожек, а в конечном счете – ускоренное изнашивание подшипников. Допускаемые отклонения от правильной геометрической формы посадочных поверхностей под подшипники качения определены ГОСТ 3325-55.

Сборку подшипника с валом наиболее успешно выполняют термическим методом. Подшипник нагревают в электрической масляной ванне до 70...80°C, устанавливают на вал и доводят до места с помощью оправки и молотка. Производить напрессовку подшипника, непосредственно ударяя по кольцу, нельзя, т.к. при этом может произойти перекосяк колец, разрушение шариков или канавок.

При установке подшипника в корпус для создания разности температур подшипник охлаждают с помощью твердой углекислоты, аммиака или жидкого воздуха либо нагревают корпус в зоне монтажа подшипника электрическими приборами.

Сборка подшипника с валом и корпусом без создания разности температур требует приложения значительной силы. Необходимые усилия

создают ручными, пневматическими и гидравлическими прессами, а направление подшипнику задают специальными приспособлениями [5].

Монтаж конических роликовых подшипников осуществляется раздельно. Внутреннее кольцо с роликами и сепаратором напрессовывают на вал, а наружное кольцо – в корпус. Радиальный зазор в коническом роликоподшипнике регулируют осевым смещением наружного кольца с помощью подвижных компенсирующих устройств (установочных гаек, регулировочных винтов) или неподвижных компенсаторов (колец, прокладок).

Регулирование радиального зазора в конических подшипниках является ответственной операцией. Неправильно установленный зазор служит основной причиной преждевременного износа подшипника. При недостаточном зазоре ролики защемляются кольцами и усиленно изнашиваются со стороны большего диаметра; при чрезмерно больших зазорах ролики воспринимают повышенные динамические нагрузки и изнашиваются главным образом со стороны малого диаметра.

3.2. Зубчатые передачи

Зубчатые колеса должны быть достаточно прочными для передачи без поломок требуемых окружных усилий, должны обладать кинематической точностью, плавностью и бесшумностью работы и не заклиниваться при разогреве.

Сборка цилиндрических зубчатых передач. Нарушение кинематической точности и плавности работы зубчатой передачи проявляется в несогласованности поворотов колес передачи, периодически или многократно повторяющихся за оборот колеса. Это приводит к колебаниям частоты вращения зубчатых колес, вследствие чего возникают вибрация и шум при работе.

Кинематическая точность и плавность работы зубчатой передачи целиком зависит от точности зубчатых колес. Допуски на цилиндрические зубчатые колеса с модулем свыше 1 мм регламентируются ГОСТ 1643-81, согласно которому зубчатые колеса в соответствии с их служебным назначением подразделены на 12 степеней точности.

Чтобы при работе зубчатой передачи не происходило заклинивание колес вследствие их разогрева и обеспечивалось смазывание рабочих поверхностей зубьев, между ними должен быть боковой зазор, наименьшее допустимое значение которого называют гарантированным боковым зазором. Верхнюю границу бокового зазора следует устанавливать, исходя из

допустимого мертвого хода колес, а также силы удара зубьев в момент включения и реверсирования вращения зубчатых колес.

В зависимости от служебного назначения зубчатой передачи и условий ее работы значения гарантированного бокового зазора $j_{n_{\min}}$ и допуска δ_{jn} на боковой зазор могут быть различными. Предусмотрены ГОСТом шесть видов сопряжений зубьев зубчатых колес: A, B, C, D, E, H , и восемь видов допусков δ_{jn} на боковой зазор: x, y, z, a, b, c, d, h . Сопряжениям H и E соответствует вид допуска h , а сопряжениям D, C, B , и A – соответственно d, c, b и a . Координата середины поля допуска на боковой зазор

$$\Delta = O_{jn} = j_{n_{\min}} + \delta_{jn} / 2.$$

Соответствие видов сопряжений и видов допусков разрешается изменять в зависимости от степени температурных деформаций зубчатых колес и корпуса, учитываемых гарантированным боковым зазором:

$$j_{n_{\min}} = V + a_{\omega}(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) 2 \sin \alpha,$$

где V – толщина слоя смазочного материала между зубьями; a_{ω} – межосевое расстояние; α_1 и α_2 – коэффициенты линейного расширения материала колес и корпуса; Δt_1 и Δt_2 – отклонения температур колес и корпуса от 20°C ; α – угол профиля исходного контура.

Деформацию от нагрева отсчитывают по нормали к профилям. Боковой зазор, обеспечивающий нормальные условия смазывания, ориентировочно принимают равным от $0,01 m_n$ (модуля) – для тихоходных кинематических передач, до $0,03 m_n$ – для высокоскоростных передач.

Таким образом, допуск δ_{jn} и координата Δo_{jn} середины поля допуска на боковой зазор в зубчатой передаче определяются ее служебным назначением, а соблюдение бокового зазора в пределах этого допуска зависит от колебания толщины зубьев и относительного смещения делительных окружностей колес (рис. 3.7). Поэтому исходя из значений δ_{jn} и Δo_{jn} , должны быть установлены допуски и координаты середин полей допусков, ограничивающие отклонения толщины зубьев δ_c и ΔO_c , и изменения бокового зазора вследствие относительного смещения делительных окружностей δ_c и ΔO_c .

Относительное смещение делительных окружностей зубчатых колес звеном размерной цепи A (рис. 3.8). Следовательно, для обеспечения требуемого бокового зазора в зубчатой паре допуски на параметры, от которых зависит боковой зазор, следует назначать по схеме, приведенной на (рис. 3.9).

A_{Δ} , в свою очередь, зависит от точности изготовления зубчатых колес, валов, подшипников и корпусной детали и является замыкающим.

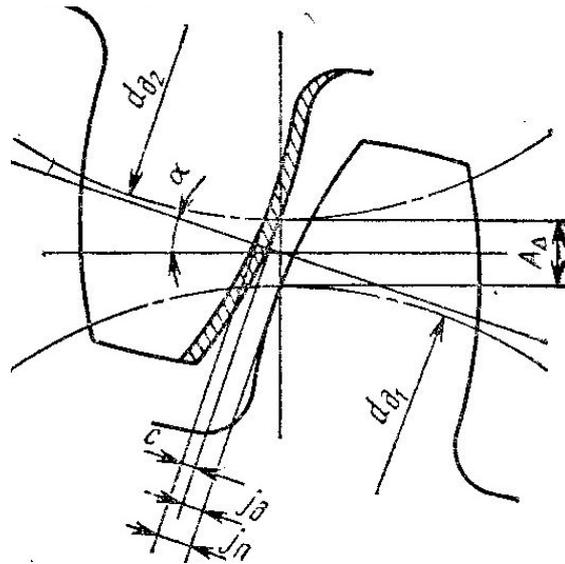


Рис. 3.7. Составные части допуска на боковой зазор в зубчатом зацеплении:

J_{α} – боковой зазор; c – отклонение толщины зуба; J_{β} – часть бокового зазора, образуемая в результате относительного смещения делительных окружностей; $d_{\alpha 1}$, $d_{\alpha 2}$ – диаметры делительных окружностей зубчатых колес; α – угол зацепления; A_{Δ} – относительное смещение делительных окружностей

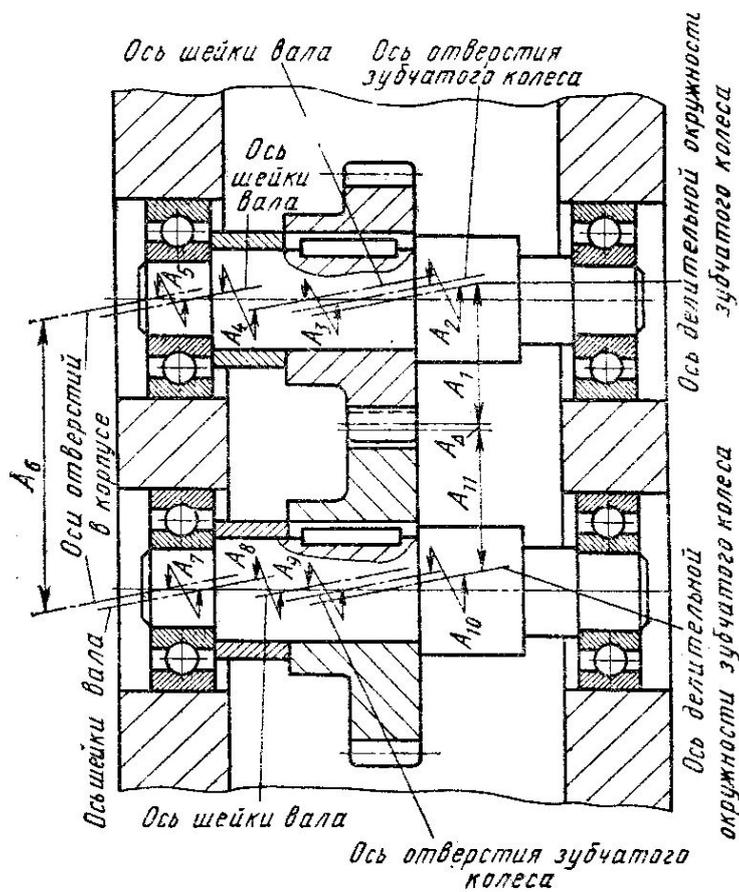


Рис. 3.8. Размерная цепь A , определяющая точность относительного смещения делительных окружностей зубчатых колес в редукторе

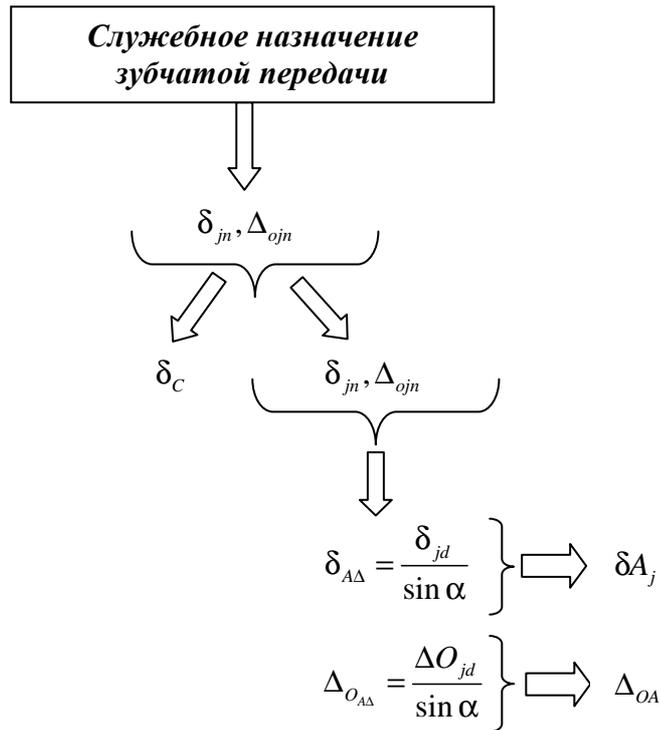


Рис. 3.9. Схемы назначения допусков на звенья размерной цепи A

Для правильной и долговечной работы зубчатой передачи важны величина и расположение пятна контакта на боковых поверхностях зубьев. Уменьшение пятна контакта приводит к концентрации нагрузки на отдельных участках поверхностей зубьев и повышенному износу зубьев. Смещение пятна контакта зубьев к какому-нибудь краю боковой поверхности зуба ведет к одностороннему приложению нагрузки, повышенному износу и выкрашиванию зубьев.

На правильность расположения пятна контакта влияет поворот образующих боковых поверхностей зубьев в двух координатных плоскостях. На рис. 3.10 приведены размерные цепи α и β , устанавливающие зависимость поворота образующих зубьев в двух координатных плоскостях от точности колес, валов, подшипников и корпуса, в котором монтируют зубчатые колеса.

Кинематическая точность и плавность работы зубчатой передачи, боковой зазор и точность поворота образующих боковых поверхностей зубьев при сборке зубчатых колес, как правило, обеспечиваются методом полной или неполной взаимозаменяемости.

Однако для повышения точности отдельных звеньев размерных цепей, которые влияют на точность относительного положения зацепления зубчатых колес, при сборке иногда используют регулирование и пригонку. Например, регулированием подшипников добиваются уменьшения откло-

нений от соосности опорных шеек валов с отверстиями в корпусе под опоры валов, а также отклонений от параллельности осей первых по отношению к осям вторых, комбинированными развертками повышают соосность отверстий в корпусе.

Техника монтажа зубчатых колес, приспособления, применяемые при этом, и методы контроля качества сборки изложены в [5].

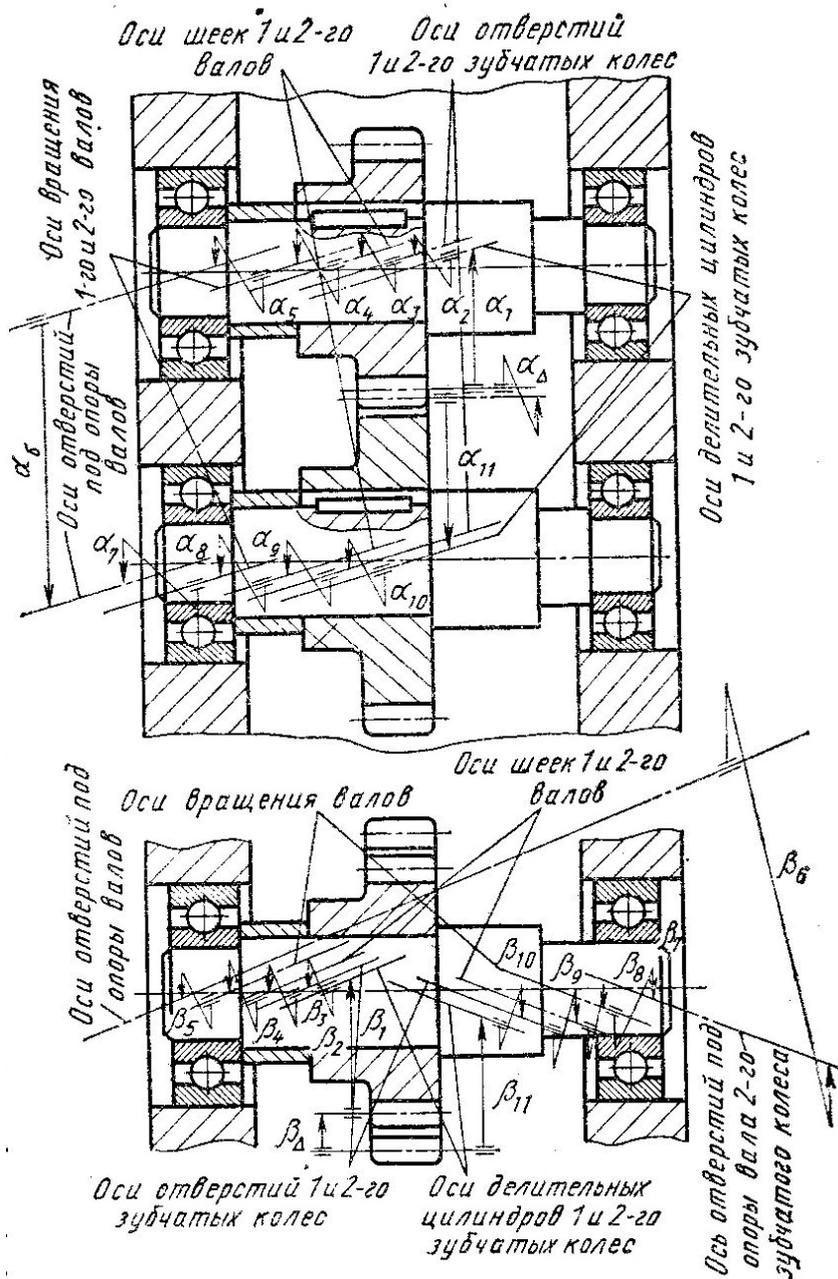


Рис. 3.10. Схемы размерных цепей, определяющих точность относительного поворота образующих рабочих поверхностей зубьев цилиндрических зубчатых колес в двух координатных плоскостях

Сборка конических зубчатых передач. Одним из основных условий правильности зацепления конической зубчатой передачи, отличающих от ее цилиндрической, является совпадение вершин делительных конусов зубчатых колес. Допускается смещение вершины делительного конуса колеса относительно оси второго колеса и вершины делительного конуса второго колеса относительно оси первого колеса в пределах, установленных ГОСТ 1758-81. Соблюдение этого условия при сборке конических зубчатых колес обеспечивается двумя независимыми размерными цепями B и B (рис. 3.11).

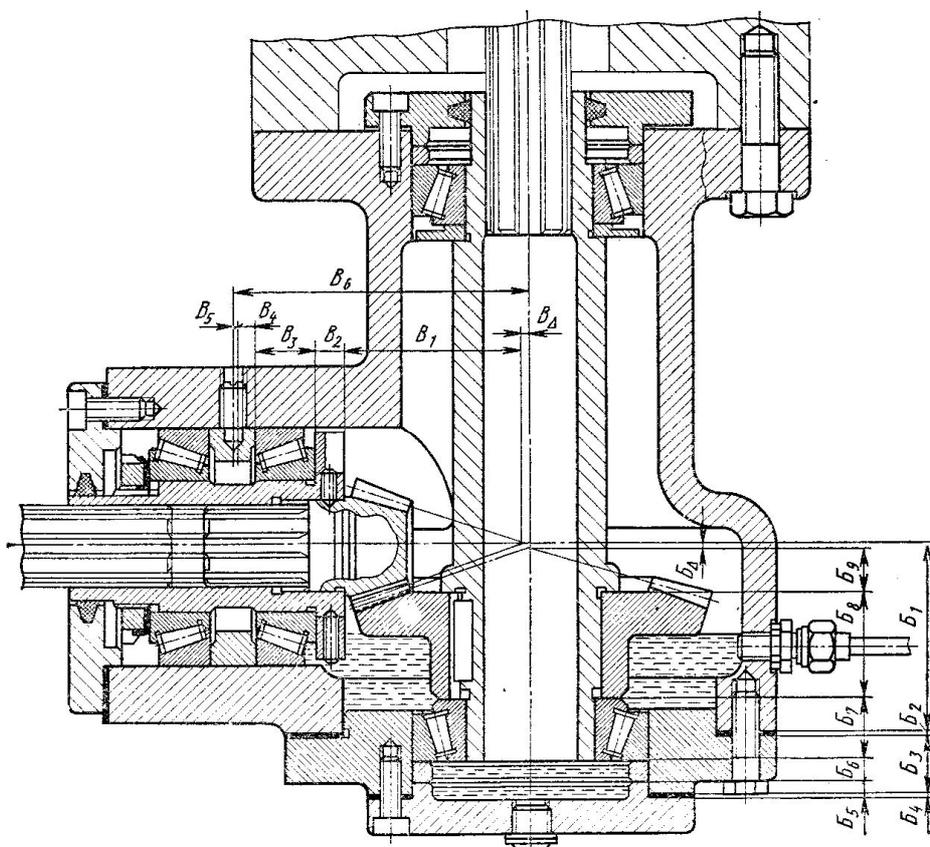


Рис. 3.11. Схемы размерных цепей, определяющих точность совпадения вершин делительных конусов конических зубчатых колес

Довольно жесткие допуски замыкающих звеньев указанных размерных цепей и их многозвенность затрудняют при сборке конических зубчатых передач использование методов взаимозаменяемости. Поэтому точность замыкающих звеньев B и \bar{B} достигается чаще всего методом регулирования. При этом большие удобства для сборщиков создают конструкции зубчатых передач, в которых предусмотрены подвижные компенсаторы. Однако неизбежное усложнение конструкции с созданием

подвижных компенсирующих устройств не всегда допускает их применение и заставляет использовать неподвижные компенсаторы в виде прокладок и колец.

Регулирование положения зубчатых колес может быть значительно упрощено, если одно из колес устанавливать по калибру относительно оси отверстия в корпусе под опоры вала второго конического колеса. Для этого в отверстие корпуса вставляют оправку, прикладывают к ней калибр и до упора в него окончательно устанавливают первое коническое колесо.

При таком выборе измерительной базы при изготовлении зубчатого колеса необходимо в жестких пределах обеспечивать точность расстояния K между вершиной делительного конуса и торцом зубчатого колеса, используемым в качестве начала отсчета. Иногда первое колесо устанавливают с помощью калибра от торца корпуса. В этом случае на точность установки зубчатого колеса влияет не только размер K , но и M – расстояние между осью отверстия в корпусе под опоры вала второго зубчатого колеса и торцом корпуса. Отклонения размеров K и M нуждаются в ограничении допусками.

После установки первого зубчатого колеса второе зубчатое колесо вводят в зацепление с первым и перемещением его в осевом направлении добиваются требуемого бокового зазора между зубьями.

Боковой зазор при регулировании положения зубчатых колес контролируют с помощью щупа или свинцовой пластинки, помещаемой между зубьями колес. О боковом зазоре можно судить также по мертвому ходу одного из колес, измерить который можно с помощью индикатора и несложных приспособлений [5].

Правильность зацепления собранных конических зубчатых колес проверяют по краске, для чего зубья одного колеса смазывают краской и им же повертывают второе колесо. При проверке без нагрузки наиболее желательными являются отпечатки краски на зубьях второго колеса, расположенные симметрично по высоте зубьев и смещенные к вершине конуса. При работе колес под нагрузкой пятно контакта перемещается от вершины конуса и располагается посередине зуба.

Правильность расположения пятна контакта на боковой поверхности зубьев зависит от соблюдения установленного угла между осями вращения зубчатых колес, нахождения осей вращения зубчатых колес в одной плоскости и точности самих зубчатых колес.

Сборка червячных передач. По назначению червячные передачи подразделяются на кинематические и силовые. ГОСТ 3675-81 установлены

12 степеней точности червячных передач. Кинематические передачи, от которых требуется создание точного передаточного отношения, изготавливают 3 – 6 степеней точности. Силовые передачи изготавливают 5 – 9 степеней точности.

Чтобы червячная передача могла выполнять свое служебное назначение, в процессе ее изготовления необходимо обеспечить кинематическую точность передачи, заданный боковой зазор в зацеплении червяка с колесом, совпадение средней плоскости колеса с осью червяка, требуемую точность углов скрещивания осей вращения червяка и колеса.

Методы обеспечения первых двух требований те же, что и при обеспечении аналогичных условий при сборке цилиндрических зубчатых передач.

Наиболее распространенным методом совмещения средней плоскости червячного колеса с осью червяка является метод регулирования, при этом можно использовать и подвижные и неподвижные компенсаторы.

В конструкции узла, показанного на рис. 3.12, предусмотрено регулирование осевого положения червячного колеса относительно червяка путем изменения толщины одной из прокладок под фланцы. При выборе в качестве компенсатора правой прокладки задачу совмещения средней плоскости червячного колеса с осью червяка разрешит размерная цепь D .

Вслед за решением этой задачи возникает необходимость регулирования зазора в подшипниках. Требуемый зазор создается перемещением наружного кольца подшипника левым фланцем и винтами. В образовавшийся зазор между корпусом и фланцем должна быть вставлена прокладка, толщину которой E_{Δ} определяет размерная цепь E .

Требуемая точность угла скрещивания осей вращения червяка и колеса достигается обычно методом полной или неполной взаимозаменяемости. Однако и здесь регулированием положения наружных колец подшипников, приданием определенного направления эксцентриситету их наружных поверхностей можно повысить точность угла скрещивания осей вращения червяка и колеса.

Правильность зацепления зубчатого колеса с червяком проверяют по краске. Краску наносят на винтовую поверхность червяка и, поворачивая его, получают отпечатки на зубьях червячного колеса. При правильном зацеплении червяка краска должна покрывать поверхность зуба червячного колеса не менее чем на 50 – 70%, а пятно контакта должно располагаться по обе стороны оси симметрии зуба.

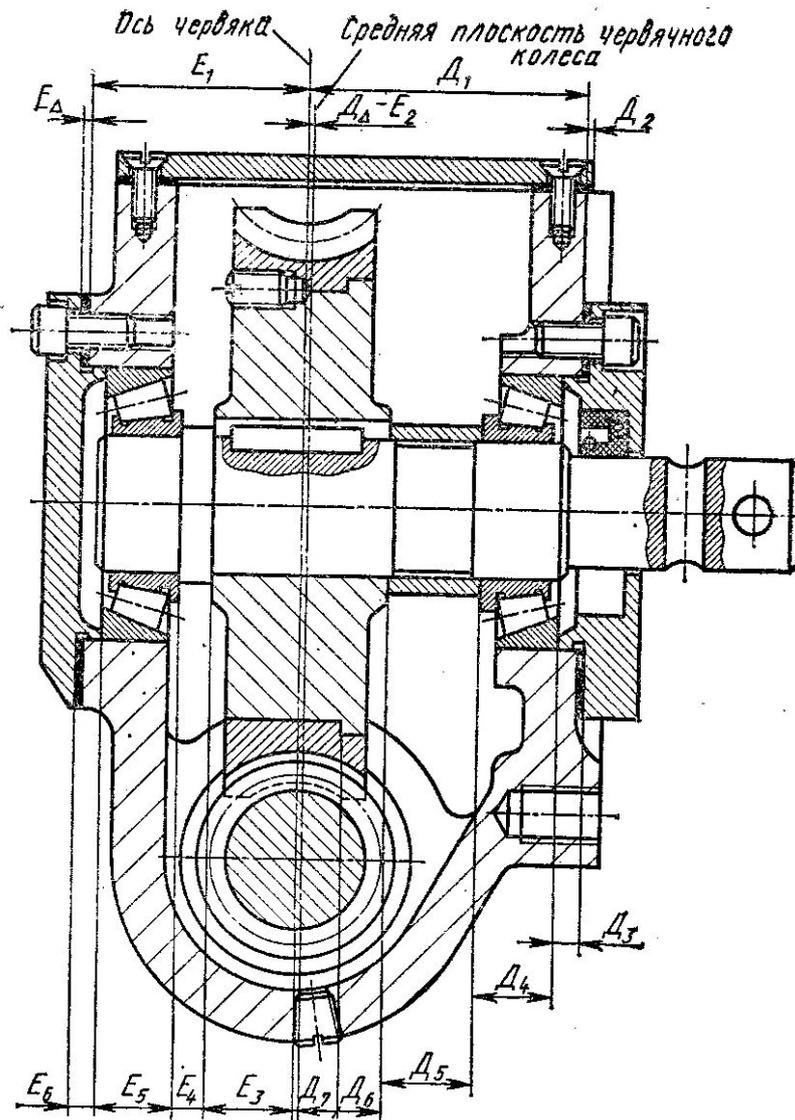


Рис. 3.12. Размерные цепи, определяющие совпадение средней плоскости червячного колеса с осью червяка

При одностороннем расположении пятна контакта на поверхностях зубьев положение червячного колеса относительно червяка исправляют перемещением колеса в осевом направлении, а иногда и разворотом наружных колец подшипников червяка и вала червячного колеса для направления эксцентриситетов колец в нужную сторону.

При монтаже зубчатых колес применяют специальные инструменты и приспособления [5].

4. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СБОРКА ИЗДЕЛИЙ

Сборочное производство характеризуется сложностью и разнообразием выполняемых операций, высокой трудоемкостью и стоимостью. Трудоемкость сборочных процессов в машиностроении и приборостроении составляет 20...70% общей трудоемкости изготовления изделий, а уровень их автоматизации в настоящее время не превышает 10...15%. Необходимость сокращения затрат ручного труда делает проблему автоматизации сборочных операций чрезвычайно важной.

Автоматизация процессов сборки может быть осуществлена либо с помощью специальных сборочных машин, либо с помощью промышленных роботов (ПР). Как в первом, так и во втором случае построению сборочной машины или применению ПР должны предшествовать глубокий анализ процесса автоматического соединения деталей, выявление функций сборочной машины или ПР и разработка требований, которым они должны соответствовать. Проведение такого анализа, детальное описание процесса сборки и определение требований, которые должны быть предъявлены к автоматическим средствам, являются главными задачами технологических разработок при автоматизации процессов сборки.

4.1. Теоретические положения автоматической сборки

Для автоматического соединения двух деталей им должно быть придано в пространстве необходимое относительное положение и обеспечены определенные относительные движения. Соотношения значений параметров положения и движения поверхностей деталей, по которым они должны быть сопряжены, получили название условий собираемости. Так, для соединения втулки с валом (для упрощения изложения рассмотрим соединение втулки с валом в одной плоскости (рис. 4.1)) и при движении втулки в направлении A необходимо, чтобы смещение ε оси отверстия втулки относительно оси шейки вала и относительный поворот a/L осей не препятствовали их соединению. Это значит, что условием собираемости втулки с валом следует считать неравенство

$$\varepsilon_{\max} + a_{\max} \leq \Delta_{\min},$$

где Δ_{\min} – минимальный зазор между отверстием во втулке и шейкой вала.

Требуемое положение соединяемых деталей обеспечивается их базированием. Базируем втулку с валом в системе XOZ , как показано на

рис. 4.1, считая, что в исходном положении детали находятся в состоянии покоя. Для сообщения втулке движения в направлении A необходимо геометрическую связь, символизируемую опорной точкой 5, заменить кинематической связью.

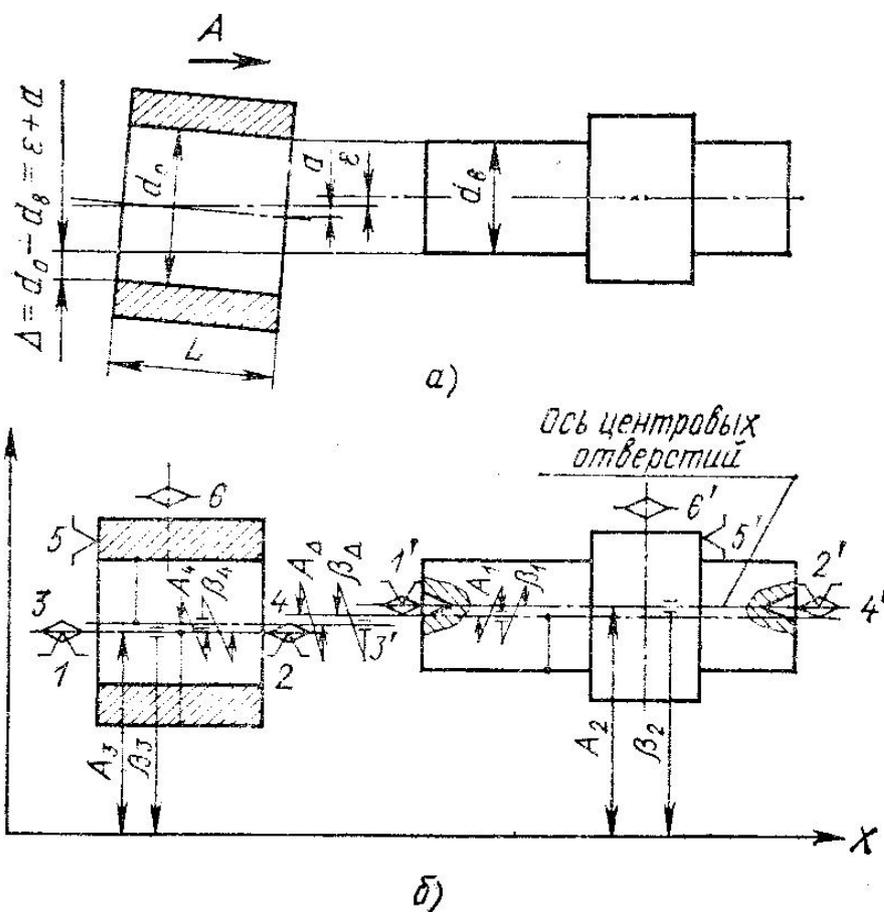


Рис. 4.1. Схемы:

a – определение условий собираемости втулки с валиком; b – базирование втулки, валика и размерных цепей, определяющих соосность отверстия во втулке и шейке валика

Выбор баз приводит к возникновению размерных связей соединяемых деталей с избранной системой отсчета, а требования к их относительному положению определяют значения параметров замыкающих звеньев соответствующих размерных цепей.

Применительно к втулке с валиком (рис. 4.1) это будут размерные цепи A и β , имеющие $A_\Delta = 0$, $\beta_{A\Delta} = \epsilon_{\max}$, $\Delta_{O\Delta} = 0$ и $\beta_\Delta = 0$, $\delta_{\Delta\max} = a_{\max}/L$, $\Delta_{O\beta\Delta} = 0$.

На примере соединения втулки с валиком проанализируем физический смысл составляющих звеньев возникших размерных цепей. Звенья A_1 , A_4 и β_1 , β_4 отражают точность базирования соединяемых деталей, которое необходимо осуществить с помощью каких-то устройств. Звенья A_1 , A_4 и

β_1, β_4 показывают, какое положение должны занимать базирующие устройства в сборочной машине или в ПР. Размерные цепи A и β определяют требования к точности соединяемых деталей, базирующих устройств, а также сборочной машины или ПР.

В большинстве случаев автоматическое соединение деталей невозможно без компенсации отклонений в их относительном положении, придаваемом им устройствами сборочной машины или ПР. Например, для соединения втулки с валиком без зазора при ее движении только в направлении A потребовалось бы обеспечивать абсолютную соосность отверстия во втулке с шейкой валика, что привело бы к невыполнимому условию

$$\varepsilon + a = 0.$$

Условия собираемости деталей могут быть расширены, если в момент соединения создать возможность регулирования их положения.

Например, регулированию положения втулки при установке на вал могли бы способствовать фаски, образующие в момент встречи деталей клиновую пару, обеспечивающую центрирование втулки по валу. При ширине фасок b условие собираемости деталей расширится и будет выражено неравенством

$$\varepsilon_{\max} + a_{\max} \leq \Delta_{\max} + b.$$

Однако при этом необходимо учесть, что во избежание заклинивания соединяемых деталей угол поворота оси отверстия во втулке относительно оси шейки валика не должен превышать значения γ . Допустимое значение угла γ зависит от соотношения параметров фасок и размеров поверхностей, по которым осуществляется сопряжение деталей.

Введение в процесс автоматического соединения деталей регулирования их относительного положения сопряжено с неоднократной сменой схем базирования. Нужный переход от одной схемы базирования к другой должен обеспечиваться соответствующими устройствами сборочной машины или промышленного робота (ПР). Проследим за базированием втулки на разных этапах посадки на вал и действиями сборочной машины, которые она должна осуществлять при этом. На рис. 4.2 показаны схемы базирования только втулки.

I этап. В исходной позиции втулка устанавливается на один из центров (до упора в торец штока привода), в которых установлен валик.

II этап. Втулке сообщается движение вдоль оси центра, для чего геометрическая связь 5 заменяется кинематической связью A .

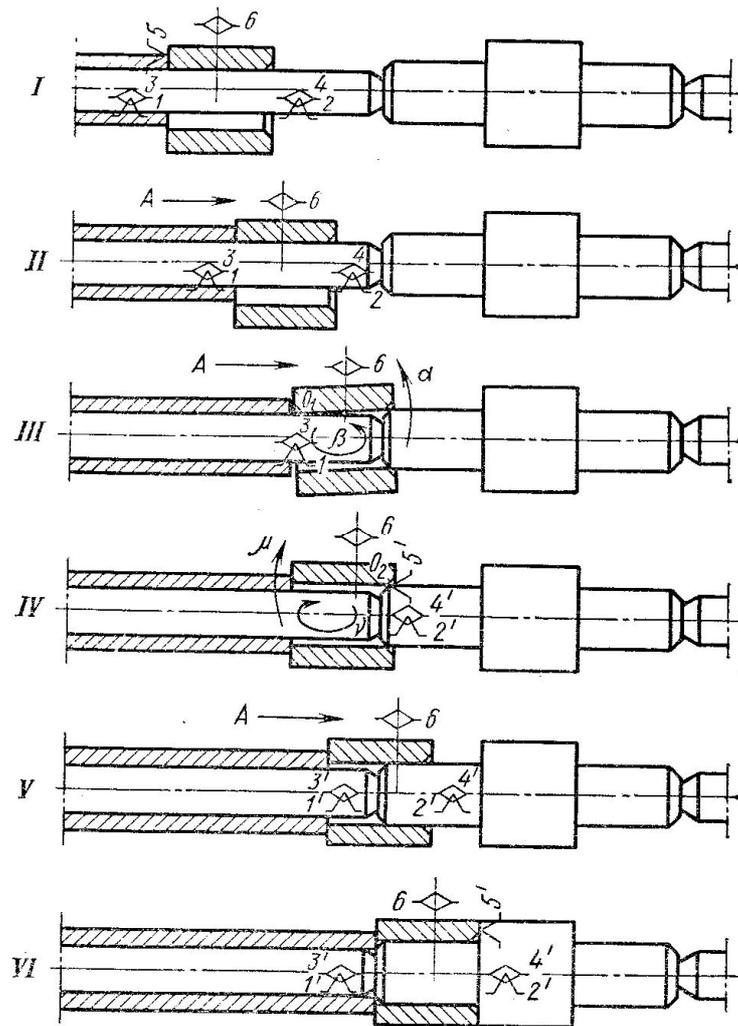


Рис. 4.2. Схемы базирования втулки в процессе посадки на вал

III этап. Втулка коснулась фаской вала и должна повернуться вокруг точки O_1 , чтобы сесть на вал фаской. Геометрические связи 2 и 4 должны быть сняты в этот момент и заменены кинематическими связями α и β , обеспечивающими поворот втулки в двух координатных плоскостях.

IV этап. Для посадки на вал, втулка должна повернуться вокруг точки O_2 . Для этого она должна быть сцентрирована по кенгуру вала опорными точками $2'$ и $4'$, на какое-то мгновение лишена опорной точкой $5'$ осевого перемещения и при действии созданных кинематических связей μ и ν повернута относительно валика до совмещения оси ее отверстия с осью шейки валика.

V этап. С момента захода втулки на валик ее базирование полностью осуществляется валиком. Причем для продвижения втулки в осевом направлении геометрическая связь $5'$ должна быть вновь заменена кинематической связью A .

VI этап. Втулка дослана до упора в торец валика. В этот момент действие кинематической связи A должно быть прекращено, а в силу должна вступить геометрическая связь $5'$.

Действие необходимых связей в процессе сборки обеспечивается силами, создаваемыми приводами сборочной машины или ПР, силами тяжести соединяемых деталей, возникающими реакциями и трением. Из примера сборки втулки с валиком нетрудно представить, что на каждом этапе процесса сборки должна быть создана своя система сил в соответствии с задачей, решаемой на данном этапе. При этом следует учитывать, что технологическая система, осуществляющая сборку, не является абсолютно жесткой. Все это требует особой тщательности в раскрытии существа процесса автоматического соединения деталей и конструктивном обеспечении условий сборочного процесса.

Необходимость ведения процесса сборки с переменным режимом вынуждает оснащать сборочные машины и ПР устройствами «пассивной податливости», обеспечивающими тонкую коррекцию отклонений в относительном положении деталей, а также устройствами адаптивного управления, автоматически осуществляющими в нужный момент переход к другим режимам. На устройства такого рода возлагается коррекция относительного положения соединяемых деталей, обеспечения требуемой для данного этапа сборки системы действующих сил и их значений, регулирование скорости процесса сборки. Нет необходимости убеждать в том, что эффективность действия таких устройств целиком зависит от глубины проникновения в физическую сущность процесса и явлений, сопутствующих ему.

Таким образом, цель технологических разработок при автоматизации процесса сборки – решение следующих задач:

- 1) выявление условий собираемости деталей при одновременном выборе баз и метода их автоматического соединения с учетом собственной точности деталей;
- 2) доскональное описание существа процесса автоматического соединения деталей, раскрытие процесса базирования деталей в ходе их соединения и построение нужных для процесса сборки систем сил;
- 3) проведение расчетов действующих сил на каждом этапе сборки, режимов сборочного процесса и определение функций сборочной машины или ПР и требований, предъявляемых к ним;
- 4) выявление размерных связей, которые должны действовать в процессе автоматической сборки, разработка требований к точности базирующих устройств, сборочной машины или ПР;

5) разработка технического задания на проектирование сборочной машины или ПР с отражением всех особенностей процесса сборки, функций машины или ПР и технических условий, которым они должны удовлетворять.

4.2. Автоматическая сборка с применением сборочных машин

Состав автоматического сборочного оборудования определяется конструкцией изделия и технологией его сборки. В большинстве случаев автоматические сборочные машины применяют для сборки изделий одного наименования или узкой номенклатуры сходных изделий, при годовой программе выпуска 200 – 500 тыс. шт. и более, вследствие чего они имеют специальное предназначение.

Обычно процесс сборки изделия делят на части в соответствии с членением его на отдельные сборочные единицы. Сборка сборочных единиц в зависимости от их сложности и изделия в целом может выполняться отдельными сборочными машинами или автоматическими линиями, имеющими ряд сборочных машин, объединенных транспортными средствами.

Помимо выполнения переходов, непосредственно связанных с соединением деталей или сборочных единиц, на автоматическое сборочное оборудование возложены функции транспортирования, загрузки, ориентации, контроля качества сборки, испытания и разгрузки.

При построении автоматического процесса сборки изделия важным является вопрос компоновки сборочного оборудования. Применение однопозиционных сборочных машин в известной мере сокращает объем транспортных операций. Однако у такой сборочной машины число самостоятельных загрузочных, ориентирующих, питающих и собирающих устройств должно быть равно числу последовательно монтируемых деталей в сборочную единицу (рис. 4.3, *а*). Это требование снижает возможность концентрации операций, может значительно усложнить конструкцию сборочной машины и доступ к ней при наладке. Поэтому однопозиционные сборочные машины применяют для сборки сборочных единиц с малым числом деталей, входящих в их состав, или в случаях, когда собираются одинаковые детали и смонтировать их можно одновременно.

Более широкие возможности в этом отношении предоставляют многопозиционные машины, допускающие параллельное выполнение разных по содержанию операций (рис. 4.3, *б*). На загрузочной позиции такой

машины в приспособление устанавливается базирующая деталь изделия, периодически переходящая вместе с приспособлением с одной позиции на другую, в каждой из которых совершаются свои сборочные операции. Приспособления обычно размещают на поворотном столе, за один поворот которого выполняется полный цикл сборки изделия. Обычно многопозиционные машины имеют не более 6 – 8 рабочих позиций, что ограничивает их применение для сборки сложных изделий.

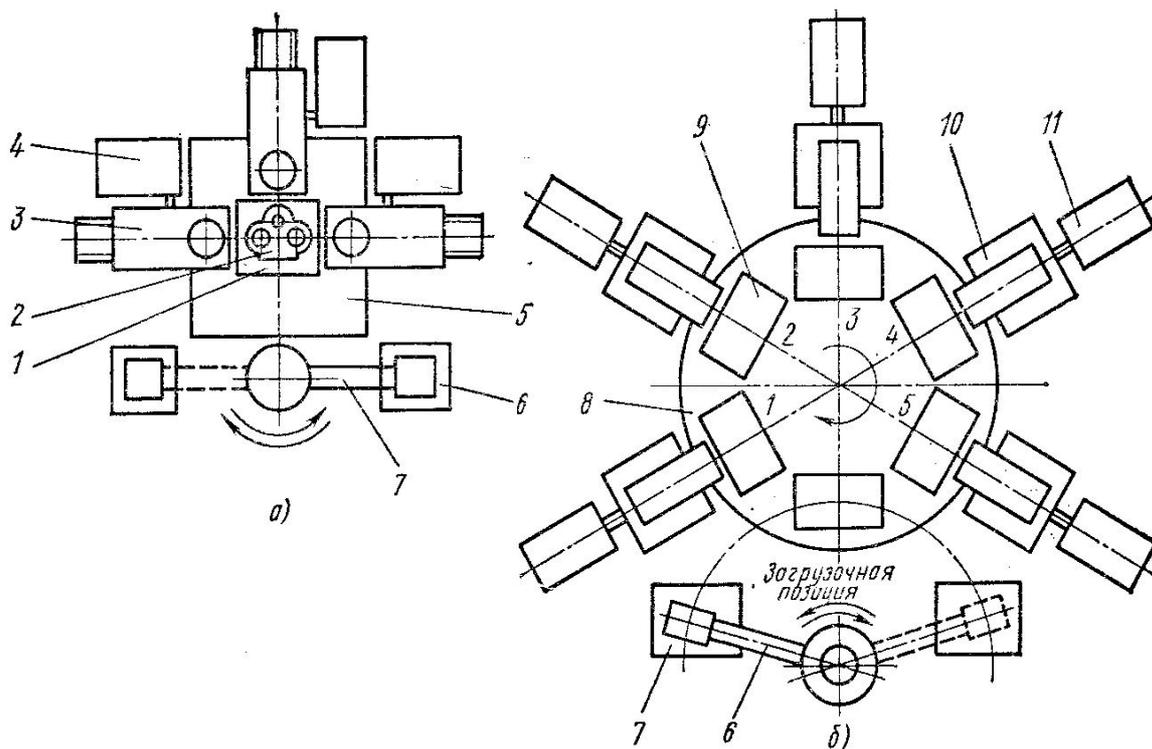


Рис. 4.3. Схемы компоновки сборочных автоматов:

а – однопозиционного: 1 – приспособление; 2 – собираемое изделие; 3 – сборочная головка; 4 – магазинное устройство; 5 – стол сборочного автомата; 6 – стол; 7 – манипулятор;

б – многопозиционного: 1 – 5 – рабочие позиции; 6 – манипулятор; 7 – стол; 8 – поворотный стол; 9 – приспособление; 10 – сборочная головка; 11 – магазинное устройство

Сборка сложных изделий ведется на автоматических линиях, которые могут быть составлены как из однопозиционных, так и из многопозиционных машин. На автоматических линиях может быть совмещена сборка отдельных сборочных единиц и в целом изделия, подобного, например, блоку двигателя внутреннего сгорания, электродвигателю и т.п. Все позиции автоматической линии связаны между собой транспортными устройствами, доставляющими к сборочным машинам спутники с установленными

ми на них базирующими деталями. Выполнение операций сборки на каждой позиции возможно с трех сторон одновременно, что предоставляет свободу в совмещении операций

Для сборки изделий, изготавливаемых в очень большом количестве, как, например, роликовых цепей, применяют высокопроизводительные роторные автоматические линии. В состав роторной линии входят сборочные роторы, транспортные роторы, устройства автоматической загрузки собираемых деталей, контроля и др. Процесс сборки осуществляется непрерывно. При этом в каждом технологическом роторе за полный его оборот осуществляется одна сборочная операция.

4.3. Автоматическая сборка с применением робототехники

Главным преимуществом ПР по сравнению со сборочными машинами является их способность перестраиваться на сборку других изделий. Наличие устройств программного управления повышает уровень универсальности этих машин и делает возможным их применение при автоматизации сборки в многономенклатурном серийном производстве. Функции любого робота сводятся к ряду типовых действий в пространстве: взять – положить, поднять – опустить, повернуть, перенести и т.д., на базе которых можно осуществлять транспортирование деталей к месту сборки, их ориентирование, выполнение разнообразных технологических операций, контроль качества сборки и др.

Существенному прогрессу в роботостроении и расширению их возможностей способствует развитие электронной и микропроцессорной техники. Если первые ПР предназначались для замены человека на простых повторяющихся операциях, то в настоящее время роботы осуществляют сложные сборочные операции, выполнение которых обычно поручалось рабочим высокой квалификации. Развитие идет от жесткопрограммируемых автооператоров и манипуляторов к роботам с программным управлением и адаптивным ПР.

Простейшие адаптивные системы по силам и крутящим моментам дополняются в настоящее время в ПР сенсорными устройствами. К числу таких устройств, особо расширяющих возможности роботов при сборке изделий, следует отнести визуальные (техническое зрение), тактильные и кинестатические (осязание и ощущение давления).

Например, визуальные сенсорные устройства (ВСУ) позволяют:

– вести наблюдение за процессом соединения деталей и управлять адаптивными сборочными устройствами;

- осуществлять комплектацию узлов;
- проводить 100%-ный контроль по внешнему виду и размерам и выдавать статистические сведения о характере отклонений от нормы;
- сортировать изделия по внешнему виду и размерам и избирать нужную деталь при взятии ее с движущегося конвейера, со стеллажа или из тары;
- осуществлять 100%-ный контроль цветовой характеристики покрытия;
- вести дистанционное управление процессом сборки и др.

Форма организации сборки с применением ПР в основном зависит от сложности изделий и может целиком выполняться либо на одном рабочем месте, либо на линии, оснащенной ПР.

В первом случае вокруг робота размещают питатели с деталями, подлежащими монтажу, набор захватных устройств, различные инструменты, которыми робот переоснащается сам, и стационарные установки (сверлильные головки, прессы и т.п.), к которым робот подает собираемое изделие для выполнения ими каких-то операций. Расширение возможностей сборки на одном рабочем месте дает применение «многоруких» роботов.

На рис. 4.4 в качестве примера показан сборочный центр с ПР, производящим сборку генераторов переменного тока, состоящих из 17 деталей. Центр имеет две позиции: для сборки узлов и для общей сборки генераторов. Статор, комплекты щеток и диодов, а также задняя крышка собираются роботом предварительно и поступают на общую сборку как узлы. Вся узловая сборка выполняется роботом вдоль вертикальной оси. Сначала передняя и задняя крышка генератора устанавливаются в двух зажимных приспособлениях, затем в переднюю крышку монтируется шарикоподшипник. Далее в заднюю крышку запрессовывается ротор, а передняя крышка переворачивается и надевается на ось ротора, после чего устанавливается на ротор прокладку, крыльчатку вентилятора, шкивы, пружинную шайбу и гайку, завинчиваемую гайковертом. Управление ПР осуществляется от ЭВМ, что обеспечивает не только движения робота по нужной траектории, но и управление скоростью движения. ПР оснащен сенсорными устройствами тактильного и силового осязания, позволяющими при жестких допусках сопрягать детали плавно и быстро.

При сборке генератора используются шесть инструментов, которые приходится заменять 8 раз за цикл. На каждый переход в сборке и на смену инструмента затрачивается в среднем по 6 с. На этом же центре после переналадки можно собирать электродвигатели, насосы, редукторы опреде-

ленных конструкций и пр. Использование ПР в автоматических линиях с дифференциацией операций дает значительную экономию в затратах вспомогательного времени. Помимо этого отпадает ограничение в использовании ПР, создаваемое сложностью изделия.

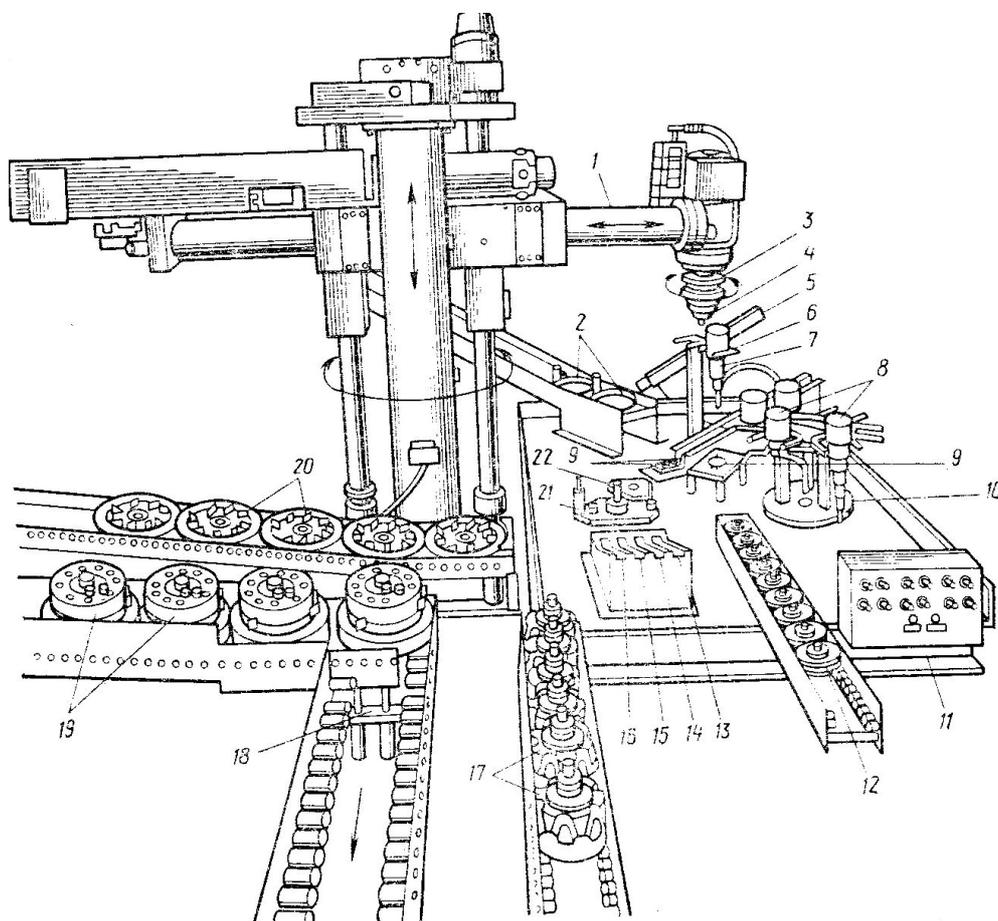


Рис. 4.4. Сборочный центр с ПР, управляемой от ЭВМ:

1 – манипулятор робота; 2 – передняя крышка; 3 – упругое захватное устройство; 4 – инструмент; 5 – лоток с винтами; 6 – штатив для хранения инструмента; 7 – отвертка; 8 – сменные инструменты; 9 – фиксаторы; 10 – поворотный инструмент; 11 – обучающий и управляющий блок; 12 – шкивы; 13 – прокладки для подшипников; 14 – стопорные шайбы; 15 – гайки; 16 – прокладки под крыльчатки вентиляторов; 17 – роторы; 18 – позиция выдачи готовых изделий; 19 – задние крышки; 20 – крыльчатки вентиляторов; 21 – зажимное приспособление; 22 – зажимное приспособление для сбора комплектов

Затраты на большее число роботов в значительной мере окупаются сокращением затрат на вспомогательное оборудование, необходимое для оснащения рабочего места индивидуального робота. В автоматических линиях в зависимости от сложности операций могут использоваться роботы различных типов: от жесткопрограммируемых до ПР высокого уровня.

Часто оказываются предпочтительными сочетания позиций концентрированной сборки с дифференцируемой. Возможно использование двух-трех роботов для обслуживания одной позиции. Число роботов в позициях может изменяться, что обеспечивает гибкость сборочных участков. Примером такой линии может служить одна из экспериментальных линий системы *APAS* фирмы «Вестингхаус» Westing-house (США), предназначенная для сборки восьми моделей малогабаритных электродвигателей. Линия (рис. 4.5) состоит из двух участков.

На первом (рис. 4.5, *a*) ведется предварительная сборка торцовых крышек. Здесь работают два быстродействующих прецизионных ПР *A-1* и *A-2* с телекамерами *V-1* и *V-2* осматривающими рабочую зону и проверяющими комплектацию и качество сборки. Правильности запрессовки деталей способствует адаптивное управление по силе. ПР *A-3* и *A-4* с управлением от мини-ЭВМ устанавливают тумблеры, конденсаторы и переключатели под контролем ВСУ (телекамеры *V-3* и *V-4*).

На участке общей сборки двигателей ПР *A-5* устанавливает статор и ротор на нижнюю торцовую крышку, а затем надевает на них верхнюю крышку. ВСУ проверяет качество ротора, ориентацию статора в устройстве подачи, помогает центрировать статор в нижней крышке. ПР *A-6* вставляет соединительные болты в частично собранный двигатель, затягивает их при контроле крутящего момента, вставляет смазочный штуцер и внутреннюю крышку. ВСУ на этой позиции проверяет соосность отверстия под болты. Наконец, ПР *A-7* вставляет собранный двигатель в корпус под контролем ВСУ, обеспечивающим совмещение крепежных колец двигателя с опорными стойками корпуса.

Из рассмотренных примеров видно, что важнейшую роль в развитии ПР играют микропроцессорное управление и устройство адаптации, среди которых сенсорные системы, особенно визуальные, обеспечивающие в роботизированном комплексе «техническое зрение», являются перспективными. Применение ПР, оснащенных ими, несмотря на то, что ПР оказываются значительно дороже обычных манипуляторов, обеспечивает высокий рост производительности и экономию затрат человеческого труда.

В целом можно заключить, что в робототехнике происходит переход от освоения отдельных ПР к созданию адаптивных роботизированных технологических систем, которые могут быть успешно использованы для автоматизации сборочного производства.

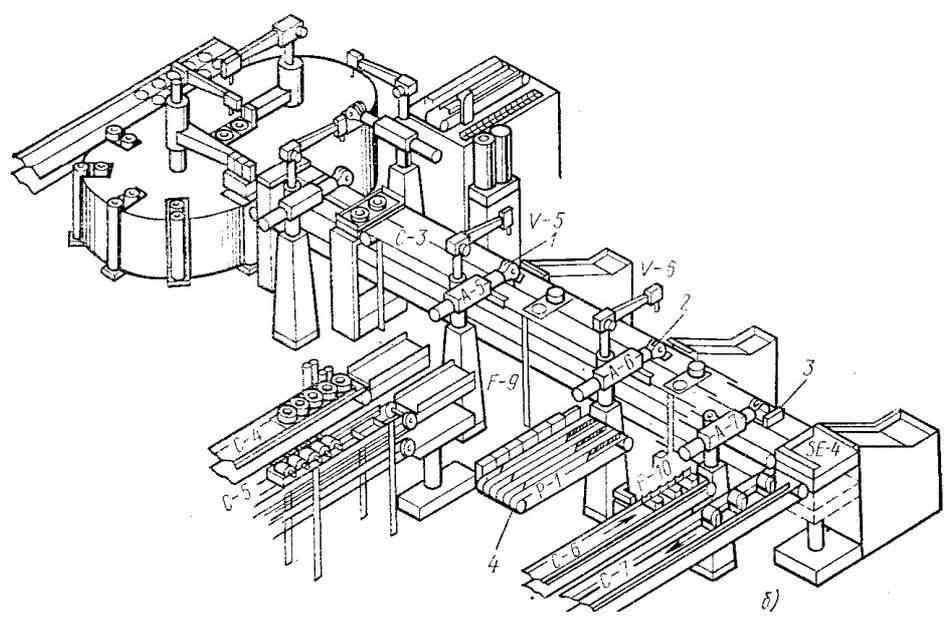
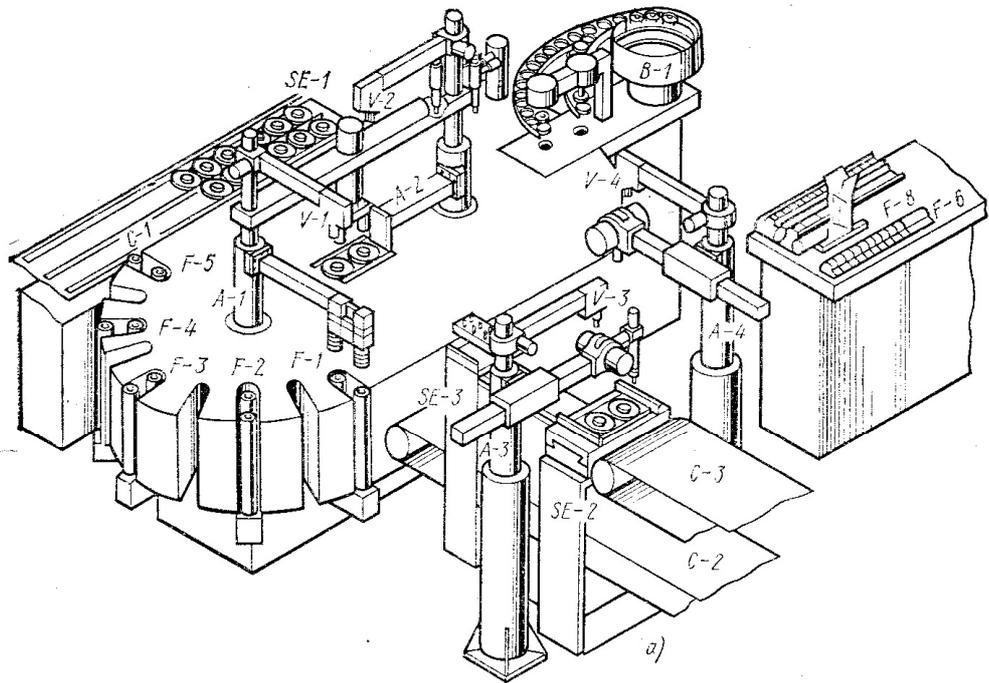


Рис. 4.5. Экспериментальный участок для сборки малогабаритных двигателей:
A – роботы; *V* – телекамеры; *F* – магазинные устройства; *B-1* – бункерное устройство;
C – конвейеры; *SE* – конвейеры возврата поддонов

5. ИЗДЕЛИЕ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ. ПОНЯТИЕ О СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССАХ

Технологический процесс сборки машин и механизмов представляет собой часть производственного процесса, характеризующуюся последовательным соединением деталей в подгруппы, группы и готовое изделие. Эта часть процесса является совокупностью операций по соединению готовых деталей в определенной последовательности с целью получения машины или механизма, полностью отвечающих установленным для них техническим требованиям. Машины и механизмы обычно собирают на том же заводе, где изготавливают детали для этого изделия. Лишь в тех случаях, когда изделия громоздки (мощные турбины, тяжелые прессы, подъемные краны и т.п.), их собирают на месте у потребителя. Однако даже в тех случаях, когда окончательную сборку машины ведут одновременно с установкой ее на фундамент, первоначальную (предварительную) сборку всей машины или отдельных ее узлов производят на заводе-изготовителе.

В ряде случаев окончательную сборку машины (комбайна, самолета и т.п.) на заводе-изготовителе не делают с целью сохранения транспортабельности продукции при железнодорожных перевозках ее к потребителю в пределах установленных габаритов.

Первичным элементом всякой собираемой машины, ее основой является деталь.

Деталь – часть машины, в которой нет никаких соединений. Несколько деталей, собранных и скрепленных между собой каким-либо способом, составляют узел.

Узел называют такую составную часть машины, которая может быть собрана самостоятельно, отдельно от других элементов машины.

Если часть машины не может быть собрана отдельно, а образовывается в процессе сборки с другими элементами изделия, то она не может рассматриваться с технологических позиций как узел машины. Узел может быть составлен из нескольких деталей или из нескольких простых *подузлов*, связанных между собой посредством крепежных деталей. Узлы разбиваются на подузлы 1-го, 2-го и т.д. порядков

Узел, непосредственно входящий в изделие, называется *группой*, а узел, входящий в изделие не непосредственно, а через группу, – *подгруппой*. Приведенная классификация является технологической. В ЕСКД (ГОСТ2101-68) виды изделия подразделяют на детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты.

Базовой деталью, или *базовым* узлом, называют основной элемент, с которого начинается процесс сборки.

В современном машиностроении сборка расчленяется на узловую и общую. Под *узловой* понимают последовательную сборку подгрупп и групп, а под *общей* – сборку готовых изделий.

Общей сборкой называется та часть технологического процесса сборки, в течение которой происходит соединение и фиксация составляющих изделий групп и подгрупп, входящих в готовое изделие. В результате общей сборки должно получиться готовое изделие, соответствующее всем предъявленным к нему техническим требованиям или техническим условиям.

Соответственно *узловой сборкой* называется та часть технологического процесса сборки, которая имеет целью образование самих групп и подгрупп, входящих в данное изделие.

Технологические схемы узловой и общей сборки строят обычно раздельно; в них приводят порядок комплектования узлов и изделия в целом. Такие схемы сборки можно также использовать для оценки технологичности конструкции, т.к. если схема позволяет выполнить общую сборку из предварительно собранных узлов, то, следовательно, собирать эти узлы можно параллельно, т.е. сокращать общий цикл сборки.

В приборостроении и аппаратостроении там, где в изделии имеются элементы, образующие электрические и магнитные цепи, различают *электрическую сборку* и *монтажные работы*. Особую весьма сложную часть сборочных работ составляют регулировочные, наладочные и испытательные работы.

Технологический процесс сборки состоит из ряда отдельных операций, среди которых основными являются операции соединения сопрягаемых элементов изделия, т.е. те, которые приводят в соприкосновение их основные и вспомогательные базовые поверхности. Кроме этого, в процессе сборки проверяют или контролируют требуемую точность взаимного положения элементов изделия, вносят, если необходимо, соответствующие исправления путем регулирования, пригонки или подбора и, наконец, фиксируют правильное положение.

Сборка токопроводящих соединений отдельных конструктивных элементов и электромагнитных систем являются предметом электрической сборки и монтажа.

В состав монтажных работ входят заготовка соединительных проводов для монтажных схем, изготовление (вязка) жгутов, внутренний электрический монтаж и соединение элементов монтажной схемы.

Далее идут механические, электрические и климатические испытания.

К технологическому процессу сборки относятся также операции, связанные с контролем (проверкой) правильности действия всего изделия или его отдельных узлов.

Сборочные операции часто перемежаются и другими необходимыми по ходу работ операциями, связанными с очисткой, промывкой, пропиткой, окраской и отделкой деталей, узлов или всего изделия в целом. В сборочном цехе выполняют также комплектовочные работы, имеющие большое значение для бесперебойной работы цеха, и некоторые несложные заготовительные операции.

5.1. Технологическая организация сборки

В зависимости от вида производства (единичного, серийного и массового) изменяется и технологическая организация сборки. При единичном производстве изготовление одного или нескольких изделий не повторяется или повторяется через неопределенные промежутки времени.

К характерным принципам сборки в условиях *единичного производства* относятся: использование универсального оборудования и приспособлений; применение нормального рабочего и универсального измерительного инструмента, ограниченное применение принципа взаимозаменяемости и широкое применение слесарно-пригоночных работ; применение труда высококвалифицированных слесарей-сборщиков, способных по чертежам и технологическому процессу собирать разнообразные сложнейшие машины.

В единичном производстве технологические процессы обычно детально не разрабатывают, а делают только наметку последовательности операций и ориентировочно подсчитывают рабочее время, определяемое на основании статистических данных аналогичных работ. Это объясняется тем, что детальная разработка не повторяющихся в единичном производстве технологических процессов экономически нецелесообразна.

Технологический процесс сборки в этом виде производства имеет свои особенности. Его строят на принципе последовательного выполнения операций, не расчлененных на более простые переходы сборочного процесса, что обычно бывает в серийном и массовом производствах.

Разнообразная номенклатура машин, изготавливаемых единицами, не позволяет по экономическим причинам снабдить в должной мере сборочный цех специальной высокопроизводительной оснасткой (инструмента-

ми, приспособлениями). Такую оснастку применяют только в случаях, когда без нее невозможно выполнять ту или иную сборочную операцию.

В условиях единичного производства в механических цехах заготовки обрабатывают также без специальной оснастки, часто по разметке, на универсальных станках, поэтому при сборке машин необходимы в связи с этим различные пригоночные работы. Объем пригоночных работ на сборке в значительной степени возрастает, если чертежи изготавливаемой машины в достаточной степени не обработаны. Неотработанность чертежей приводит к различным неполадкам при сборке, состоящим в том, что машина «не собирается», т.е. одна деталь не входит в другую, задевает находящуюся рядом и т.п.

«Несобираемость», т.е. нетехнологичность машин в сборке, обычно приводит к дополнительным пригоночным работам, к которым относятся: зачистка и опиловка сопрягаемых поверхностей деталей, шабрение втулок, прорубка смазочных канавок, подрезка деталей, наварка коротких деталей, сверление и нарезание резьбы и другие работы.

Цикл сборки машины, т.е. время, в течение которого производят сборку ее (с момента поступления деталей на сборку и до оформления собранной машины) при единичном производстве, очень велик по сравнению с другими видами производства. При сборке в единичном производстве требуются значительные производственные площади.

Серийное производство в сборке в отличие от единичного характеризуется выпуском машин не единицами, а партиями (сериями) через определенные промежутки времени. Выпуск машин сериями позволяет в большей степени оснастить технологический процесс сборки узлов и машин.

В условиях серийного производства технологический процесс сборки машин построен по принципу параллельно-последовательного выполнения операций. Сложные операции разбивают на более простые, общую сборку машин разделяют на сборку узловую, подузловую и сборку технологических комплектов.

При таком построении процесса машины можно собирать развернутым фронтом и, кроме того, в некоторых работах могут участвовать менее квалифицированные слесари-сборщики. При крупных сериях можно провести специализацию, т.е. некоторые виды работы выполнить одним рабочим, что значительно повышает производительность труда.

В связи с большой насыщенностью серийного производства различного рода оснасткой пригоночные работы занимают меньшее место; этому способствует также высокая отработка чертежей машин, что в целом облегчает их сборку в серийном производстве.

В зависимости от величины серии и периодичности чередования организационные формы серийного производства могут быть различными. Иногда серийное производство приближается к организационным формам единичного производства, однако в большинстве случаев в нем широко используют организационные формы массового производства при ограниченной номенклатуре и большом размере выпуска изделий.

При серийном производстве в зависимости от номенклатуры выпускаемых изделий и их количества применяют различное оборудование, инструмент и приспособления – от универсального до специализированного, а в отдельных случаях и специального назначения; широко применяют принцип взаимозаменяемости, но наряду с этим могут иметь место и некоторые пригоночные работы.

Номенклатура изделий заводов *массового производства* весьма однородна и ограничена. Изделия изготовляют в больших количествах, причем их конструкцию меняют сравнительно редко.

Комплектом называется узел, собранный *предварительно*, т.к. при окончательной установке в машине такой узел требует разборки (полной или частичной). Этой особенностью комплект и отличается от обычных узлов (групп и подгрупп), которые устанавливают в машине в собранном виде.

Сборка в массовом производстве отличается от сборки в единичном и серийном производствах следующим: возможностью закрепления за каждым рабочим местом, за каждым рабочим постоянной повторяющейся операции (приспособлений и инструмента) и применения специальной оснастки, специального оборудования (транспортёров, рольгангов, конвейеров), позволяющего наиболее производительно организовать процесс сборки отдельных узлов и машины в целом; расчленением технологического процесса сборки на простейшие переходы, что позволяет выполнять работу наиболее широким фронтом и рабочими низкой квалификации (операционниками, выполняющими только одну операцию).

В условиях массового производства технологический процесс строят по принципу параллельного выполнения операций, что резко сокращает цикл сборки машин. Высокая специализация работ способствует достижению большой производительности труда на сборке. В массовом производстве достигается наибольший съём продукции с одного квадратного метра сборочной площади, минимальная трудоёмкость сборочных работ, наиболее короткий цикл сборки машин и механизмов.

Одним из основных условий массового производства является осуществление принципа взаимозаменяемости, обеспечивающего изготовле-

ние деталей с определенной точностью без дополнительной обработки, пригонки и изменения характера работы этой детали в собранном изделии.

Таким образом, сборку машин в массовом производстве выполняют без каких-либо пригоночных работ. «Собираемость» машин в массовом производстве наивысшая; она обусловлена отработанностью чертежей и технологии по всему производственному циклу.

Не на всех производственных участках массового производства выполняется работа непрерывным потоком. В некоторых случаях работа выполняется с серийным запуском. Наряду с подвижной сборкой целых изделий и ряда его групп в массовом производстве встречается и серийная сборка менее трудоемких групп и подгрупп.

Технологические процессы для массового производства разрабатывают детально с полной дифференциацией отдельных операций. Такая детальная разработка целесообразна и экономически оправдывается тем, что в массовом производстве технологические процессы повторяются постоянно.

5.2. Методы сборки

Технологическая классификация методов сборки

Детали машин при соединении их в узлы должны сохранять определенное взаимное расположение в пределах заданной точности. В одних случаях при сборке должен быть выдержан зазор, обеспечивающий взаимное перемещение деталей, в других – необходимый натяг, обеспечивающий прочность их соединения.

В зависимости от вида производства применяют пять основных методов сборки:

- 1) при полной взаимозаменяемости деталей (узлов);
- 2) с сортировкой деталей по группам (метод группового подбора);
- 3) с подбором деталей (неполная взаимозаменяемость);
- 4) с применением компенсаторов;
- 5) с индивидуальной пригонкой деталей по месту.

Каждый из этих методов сборки обладает своими преимуществами и недостатками, и потому, в зависимости от характера производства, его организации, технической оснащенности и пр., применяют тот или иной метод.

Метод полной взаимозаменяемости предусматривает сборку машин без какой-либо дополнительной обработки деталей с установкой и заменой любой детали без пригонки. Этот метод экономически целесообразен в массовом и крупносерийном производствах, где капитальные затраты на оснащение производства окупаются большим количеством изготавливаемых

машин. При этом методе благодаря отсутствию операций подбора или пригонки деталей ускоряется сборка машин, снижается трудоемкость и увеличивается выпуск продукции. Помимо этого, использование комплектов запасных деталей и узлов, изготовленных на основе полной взаимозаменяемости, обеспечивает быструю замену в эксплуатационных условиях изношенных или поврежденных деталей, что повышает эффективность эксплуатации машин.

В действительности же, в результате действия ряда факторов, при изготовлении любой партии детали никогда не могут быть одинаковыми, т.е. одни детали будут с размерами, более близкими к номиналу, другие – с менее близкими. Вероятность сочетания одних крайних размеров в кинематических цепях с однородными по величине погрешностями (отклонениями от номинала) крайне ничтожна. Так, например, вероятность получения наихудшего сочетания крайних плюсовых или крайних минусовых отклонений при их распределении по закону равной вероятности в размерной цепи, имеющей элементы с одинаковыми величинами допусков, весьма мала. При реальных распределениях вероятность сочетания крайних отклонений ничтожно мала.

Решение о применении сборки с полной взаимозаменяемостью должно базироваться на анализе работы механизмов и на технико-экономических расчетах. При этом основными факторами, ограничивающими использование этого метода сборки, являются требования применения точных методов обработки большого количества деталей, сложных и точных приспособлений и контрольно-измерительных приборов, что нерентабельно при небольшом объеме производства.

Метод сборки с применением сортировки деталей (метод группового подбора). Для осуществления высокой степени однородности посадок (без дополнительной пригонки деталей) и предотвращения увеличения затрат на производство при назначении излишне жестких допусков сборку ведут путем подбора (предварительной сортировки деталей).

Этот метод сборки применяют там, где по условиям работы деталей требуется зазор или натяг в более узких пределах, чем получаемый из основных размеров деталей с учетом допусков на их изготовление. В таком случае требуемые конструкцией зазор или натяг получают не за счет изготовления деталей с минимальными допусками, а путем соответствующего подбора охватывающих и охватываемых деталей, т.е. к отверстию с диаметром, близким к верхнему пределу, подбирают более полный вал и, наоборот, к отверстию с диаметром, близким к нижнему пределу, подбирают менее полный вал.

Подбор деталей значительно упрощается, если детали обоих наименований по размерам (в пределах допусков на их изготовление) разбивают на несколько групп.

Метод предварительной сортировки деталей на группы предусматривает разбивку полей допусков сопрягаемых деталей на несколько равных частей и подбора их таким образом, чтобы полномерные охватываемые детали сопрягались с полномерными охватывающими деталями.

При сборке методом предварительной сортировки (селективная сборка) детали сортируют таким образом, чтобы в каждую группу вошли охватывающие и охватываемые детали одной группы, т.е. такие детали, у которых пределы отклонения лежат внутри этих полей допусков. Детали каждой из таких групп могут соединяться только между собой; охватывающие детали I группы – с охватываемыми деталями I группы; охватывающие детали II группы – с охватываемыми деталями II группы и т.д.

Описанный выше метод подбора деталей дает возможность получать повышенную точность. Однако применение его целесообразно лишь при сборке узлов с короткими размерными цепями и при обеспеченности сборки достаточным количеством деталей.

Кроме возможности сортировать детали на группы внутри полей допусков, необходимо знать кривые распределения их размеров. Для этого нужно опытным путем получить кривые распределения и исследовать их, что позволит определить вероятность получения заданного зазора или натяга и одновременно установить количество деталей в каждой группе при сортировке.

Если распределение размеров собираемых деталей (например, валы и втулки) подчиняется закону нормального распределения, то количество деталей каждой группы одинаково и сборка протекает нормально. Если же одна из деталей (например, втулка) подчиняется другому закону распределения, то, очевидно, некоторую часть деталей нельзя пустить в сборку из-за несоответствия в количественных соотношениях по группам.

Тогда применяется статистический способ, заключающийся в том, что обследуется возможно большее количество операций, строятся для них кривые распределения и графоаналитическим методом для каждой группы в отдельности устанавливается количество неиспользуемых деталей.

Метод сборки с применением подбора деталей (неполная взаимозаменяемость). Этот метод основан на учете вероятностей отклонений размеров, составляющих размерную цепь, причем возможно получение некоторого количества узлов, выходящих за установленные пределы точности.

Сборка с применением подбора деталей, благодаря расширению допусков на все звенья размерной цепи, позволяет экономичнее изготавливать детали.

Метод сборки с применением компенсаторов. При большом числе звеньев размерной цепи и малом допуске замыкающего звена (зазора или натяга) необходимая для полной взаимозаменяемости точность изготовления деталей может в значительной степени усложнить производство и далеко выйти за пределы экономически целесообразной точности. В таких случаях приходится либо отказаться от полной взаимозаменяемости, допуская пригонку деталей по месту, либо вводить в конструкцию механизма тот или другой вид компенсатора, позволяющего регулировать в определенных пределах один из размеров. Такую регулировку называют *компенсацией*, а деталь, подбираемую в размерной цепи или специально вводимую в цепь для уменьшения допуска замыкающего звена, – *компенсатором*.

Характерная особенность всех компенсаторов состоит в том, что сборка с их применением позволяет выдерживать установленные пределы точности в размерной цепи путем изменения величины одного из ранее намеченных звеньев. Обработка же всех остальных звеньев цепи осуществляется по допускам, наиболее приемлемым для данных производственных условий. Величину компенсирующего звена можно регулировать двумя способами: введением в размерную цепь специальной детали – прокладки, шайбы, промежуточного кольца и т.п. (*неподвижные* компенсаторы) и изменением положения одной из деталей, например, клина, втулки, эластичной или пружинной муфты, эксцентрика и т.п. (*подвижные* компенсаторы).

При наличии в размерной цепи звеньев, меняющихся по величине вследствие износа деталей, к величине компенсации необходимо прибавить величину ожидаемого износа, подлежащую компенсации после определенного срока работы машины путем периодического или непрерывного регулирования. К периодически регулируемым компенсаторам относятся конусные, клиновые, эксцентриковые, пружинные, резьбовые, или шлицевые, зубчатые и др.

Метод сборки с индивидуальной пригонкой детали по месту. Сборка с пригонкой деталей по месту заключается в том, что установленный предел точности замыкающего звена в размерной цепи достигается изменением величины одного из заранее намеченных звеньев путем снятия дополнительного слоя материала. По существу, сборка с доделкой деталей по месту является методом неполной взаимозаменяемости с пригонкой деталей в тех случаях, когда размер замыкающего звена лежит за пределами допускаемых отклонений.

Чтобы производить пригонку за счет выбранного компенсирующего звена, необходимо: располагать поле допуска, подлежащей пригонке детали относительно номинала с таким расчетом, чтобы обеспечить на компенсирующем звене слой материала (припуск на пригонку), достаточный для компенсации величины превышения допускаемой погрешности замыкающего звена; выдерживать при обработке деталей, входящих в размерную цепь, установленные, экономически приемлемые величины допусков, не выбирать в качестве компенсирующего звено, которое является общим для нескольких размерных цепей, т.к. изменение его величины вносит погрешности во все связанные между собой размерные цепи.

Существенными недостатками метода сборки с пригонкой по месту являются: потребность в рабочих высокой квалификации; повышенная трудоемкость, иногда достигающая 40 – 50% общей трудоемкости сборки машины; трудности учета и нормирования пригоночных работ; а также необходимость в большинстве случаев снятия стружки, что вызывает загрязнение рабочих мест и требует дополнительной очистки и промывки собранных узлов и механизмов.

5.3. Подготовка деталей к сборке

В зависимости от вида производства сборка машин в той или иной степени может быть связана с выполнением пригоночных работ. Пригоночные работы не являются сборочными и относятся к слесарным, которые предшествуют выполнению сборочных операций.

Пригоночные работы делят на технологические пригоночные работы, т.е. работы, предусмотренные технологическим процессом, и нетехнологические пригоночные работы, являющиеся следствием «несобираемости» машин. Они, как уже было сказано, вызываются, прежде всего, неотработанностью чертежей и технологических процессов по всему циклу производства, а также отсутствием надлежащего контроля за ходом производственного процесса.

Основными подготовительными операциями, предшествующими сборке, являются очистка деталей и узлов от загрязнений маслом, стружкой, опилками и т.д. промывкой в моечных устройствах с последующей сушкой и обдувка сжатым воздухом.

Слесарно-пригоночными работами устраняют погрешности механической обработки или заменяют иногда часть станочных операций, если выполнение последних по тем или иным причинам затруднительно.

Основными видами слесарно-пригоночных работ являются: обрубка, опиловка, шабрение, притирка, доводка, зачистка, правка, сверление, развертывание и нарезание отверстий по месту и в сборе и др.

Обрубкой снимают неровности на ограниченных участках поверхности, чтобы устранить местные дефекты, обнаруживаемые при сборке. Ее осуществляют вручную слесарным зубилом или с помощью механизированного инструмента – пневматических зубил. Обрубкой достигают точности обработки 0,25 – 0,5 мм.

При *опиловке* и *зачистке* обычно применяют напильники и абразивные круги. Для мелких и точных работ используют надфили – напильники малых размеров (длиной 50 – 100 мм) с очень мелкой насечкой. В тех случаях, когда приходится опиливать поверхности, находящиеся на значительном расстоянии друг от друга (прерывистые поверхности), причем обрабатываемые поверхности должны находиться строго в одной плоскости, применяют напильники специальной конструкции.

В корпусе, изготовленном из алюминия, закрепляют с помощью бинтов два обычных коротких напильника. По всей длине основания корпуса с интервалом 50 мм нарезаются отверстия для винтов, крепящих напильники, благодаря чему они могут перемещаться в корпусе и устанавливаться на нужный размер. Боковые скосы корпуса предотвращают соскальзывание напильника с обрабатываемой поверхности.

Применяют также сборный ручной напильник со сменными вставками. Он состоит из алюминиевого корпуса с деревянной ручкой, где закрепляют винтами сменную вставку из высококачественной углеродистой стали. На вставке имеется диагональная насечка, образующая около 500 режущих зубьев высотой 0,2 мм. Под каждым зубом расположено небольшое отверстие, в которое проталкивается стружка, снятая режущими зубьями вставки, что предохраняет впадины между зубьями от забивания стружкой. Сборный напильник применяют для обработки вязкой стали, меди, алюминия, а также таких материалов, как дерево, резина, кожа, фибра, пластические массы и т.п. После износа сменную вставку заменяют новой.

Поверхности различных деталей, которые по своим размерам и конфигурации не могут быть обработаны на металлорежущих станках или опилены обычными напильниками, обрабатывают рихтовочными напильниками. Ими обрабатывают также детали из цветных металлов и низкоуглеродистой стали. Рихтовочные напильники отличаются от обычных тем, что на них профрезерованы радиальные зубья. Глубина зуба в рихтовочных напильниках делается большей, чем у стандартных напильников, а отношение глубины к шагу должно быть не менее 0,5. Это обеспечивает дос-

таточный объем впадин между зубьями для нормального размещения стружки, что также существенно влияет на улучшение качества обрабатываемой поверхности. Передний угол зуба у рихтовочных напильников делают $3...5^\circ$. Рихтовочные напильники могут быть выполнены с зубьями с обеих сторон, изогнутыми по длине и даже изогнутыми в обоих направлениях. С помощью рихтовочных напильников хорошо снимаются грубые риски.

Для механизации работ по опиловке и зачистке широко применяют электрические или пневматические машинки, в патроне которых укрепляют специальные напильники или абразивные головки.

Шабрение в процессе сборки производят для получения ровной поверхности при пригонке сопрягаемых деталей. Шабрение – трудоемкий и малопроизводительный процесс. Тем не менее, при отсутствии необходимого оборудования – это один из простых способов достижения достаточной точности пригонки.

Широко применяются рациональные конструкции шаберов с трубчатым стержнем и припаянными режущими частями. На этих частях у трехгранных шаберов имеются узкие ленточки шириной $1...1,5$ мм, которые при заточке легко и быстро доводятся на брусках.

На ряде машиностроительных предприятий применяют также шаберы со сменными пластинками. В большинстве случаев сменные пластинки крепятся в шабере с помощью винтов, накидных гаек и др.

Ручное шабрение, где возможно, механизуют, применяя электрический или пневматический инструмент с возвратно-поступательным движением ползуна, удерживающего шабер.

Притирку и доводку применяют при сборке для получения плотных соединений точных геометрических форм с высокой чистотой поверхности (например, клапанов, сальников, втулок, кранов, плунжерных пар и др.).

В качестве притирочных материалов используют пасты ГОИ и некоторые другие, в состав которых входят окись хрома ($74...81\%$), кремнезем, стеарин и др. Пасты ГОИ изготавливают грубые и средние – для предварительной притирки, и тонкие – для окончательной притирки и доводки.

К инструментам для притирки относятся диски, цилиндры, конусы (подвижные притиры), плиты, бруски, трубы, кольца (неподвижные притиры), изготовленные по форме притираемых деталей. Притиры изготавливают из стекла, мягкого мелкозернистого чугуна, мягкой стали, красной меди, латуни, свинца, древесины (клен, дуб, бук).

Сверление отверстий чаще всего производят на вертикально-сверлильных станках. Кроме того, для этого широко используют настольные

сверлильные и радиально-сверлильные станки. Однако при выполнении некоторых сборочных операций, особенно при сборке крупных машин, сверлильные работы, как правило, выполняют вручную. При ручном способе сверления отверстий для приведения сверла во вращательное движение применяют коловороты, трещотки, ручные, пневматические и электрические дрели. Пневматические и электрические дрели механизмируют процесс сверления и облегчают ручной труд. Они бывают поршневые и роторные. Пневматические дрели с роторным двигателем легче. Они весят от 1,5 до 14 кг. Их применяют для сверления отверстий диаметром от 6 до 22 мм. Дрели с поршневым двигателем весят от 12 до 20 кг. Их используют для сверления отверстий диаметром от 22 до 32 мм.

Электрические дрели обладают рядом преимуществ по сравнению с пневматическими: они экономичнее и легче переключаются на обратный ход, но более чувствительны к перегрузкам и требуют специального заземляющего провода.

Для удобства работы пневматическими и электрическими дрелями в узких и труднодоступных местах применяют специальные удлинители, угловые насадки или угловые дрели.

В последнее время в производстве широко применяют высокочастотные дрели, работающие при напряжении 72 и 36 В. Они значительно легче, меньше обычных и более безопасны в работе.

Пневматические и электрические дрели в случае необходимости могут быть установлены на специальные стойки и использованы как для сверления, так и для развертывания, нарезания резьбы и т.п.

Нарезание резьбы является одной из весьма распространенных слесарных операций, выполняемых при сборочных работах, и осуществляется с помощью резьбонарезной головки и вручную. Основными режущими инструментами для ручного нарезания резьбы в отверстиях являются метчики, а для нарезания резьбы на стержнях, болтах, винтах, шпильках, трубках – винтонарезные плашки и доски.

Наружную резьбу при сборочных работах обычно нарезают круглыми плашками за один проход с помощью воротка с цилиндрическим отверстием. Для нарезания резьбы вручную применяют раздвижные призматические плашки, состоящие из двух половин и укрепляемые в клуппе - специальной рамке с рукоятками. Плашки имеют треугольные или полукруглые желобки, которые входят в направляющие клуппа. С помощью винта одну из половин плашки можно перемещать и устанавливать на необходимый диаметр нарезки.

Зачистку базовых плоскостей при сборке под опорные части фланцев, шайб, гаек, упоров и т.п. до определенной размерности при необходимости выполняют цилиндрическими зенковками. *Правку* деталей в процессе сборки производят для того, чтобы придать им требуемую форму перед монтажом в узлы или изделия. Как правило, правку деталей для обеспечения прямолинейности их осей в процессе сборки не делают.

В производстве следует применять такие способы контроля поступающих на сборку деталей, которые обеспечивали бы при сопряжении деталей необходимую точность взаимного расположения поверхностей. Однако в некоторых отраслях машиностроения, например, в производстве сельскохозяйственных машин, операции правки оказываются экономически целесообразными. В этих случаях правка деталей позволяет обеспечить необходимую точность сопряжений, несмотря на сравнительно низкую точность деталей, поступающих на сборку. Детали обычно правят вручную, применяя несложные приспособления.

При правке плоских деталей, подвергшихся скручиванию, применяют специальный рычаг с прорезью по размеру детали. Изогнутые валы правят на призмах, также пользуясь рычагом. С учетом соотношения плеч можно создать силу до 80 – 90 кгс, изгибающую вал. При пользовании винтовым прессом можно создать силу до 30 Н. Для правки крупных деталей нередко необходимы значительные силы (до 150 Н и более). В таких случаях целесообразно применять пневматические или гидравлические прессы.

Перед началом правки определяют характер изогнутости детали. Если это вал, то его укладывают на призму и, медленно вращая, отмечают мелом точки, где индикатор показывает наибольшее отклонение. Такую проверку делают по всей длине вала. Таким образом, устанавливают характер изгиба и точки приложения сил для выправления вала. При этом опоры-призмы необходимо устанавливать с двух сторон на равных расстояниях от оси винта прессы.

При правке вала возникает опасность чересчур изогнуть его в противоположную сторону. Во избежание этого под винт прессы устанавливают призму такой высоты, которая ограничивала бы прогиб вала.

Мойка. Металлические опилки, мельчайшие кусочки стружки, остатки обтирочных материалов, абразивный порошок, попадающие в отверстия или каналы детали, могут впоследствии при работе машины попасть вместе со смазкой в подшипники и привести к нагреву и преждевременному износу подшипников, а нередко и к выходу из строя всей машины. Для предотвращения этого детали и узлы следует промыть. Эту операцию вы-

полняют в промывочных баках и шкафах, а также в механизированных моечных машинах.

Стационарный промывочный бак для ручной промывки представляет собой металлический резервуар площадью до 2 кв. м, внутри которого укреплена решетка; на последнюю укладывают промываемые детали. В резервуар наливают промывочную жидкость, которая насосом подается в шланг с наконечником и оттуда струей направляется на промываемую деталь. Мельчайшие капли жидкости, взвешенные в воздухе, отсасываются через вытяжное устройство.

Необходимо отметить, что применение промывочных баков в сборочных цехах нерационально. Объясняется это тем, что пары в открытых баках загрязняют цех, а при использовании для промывки бензина или керосина этот участок цеха становится опасным.

В серийном и массовом производствах применяют специальные моечные машины, которые значительно удобнее, т.к. детали и моют в закрытом резервуаре без участия рабочего.

Моечные машины бывают однокамерными, двухкамерными и многокамерными.

В однокамерной машине детали и узлы только промывают, для этой цели в моечной камере расположена батарея из труб с соплами. В эти трубы насосом нагнетают промывочную жидкость, забираемая из сливного бака. Сопла расположены таким образом, что деталь и узел одновременно омываются сильными струями со всех сторон. Жидкость подогревают посредством парового змеевика. Промываемые детали перемещают в моечной машине с помощью цепного конвейера.

В двухкамерной машине – две моющие камеры: в первой их промывают, а во второй ополаскивают другой жидкостью. Камеры разделены брезентовыми или резиновыми шторами, препятствующими разбрызгиванию жидкости. В трехкамерной машине третью камеру используют для сушки.

В качестве промывочных жидкостей применяют подогретые растворы щелочей, например водный 3...5% раствор кальцинированной соды с маслом (до 10 г на 1 л раствора) или 0,5% раствор мыла.

Сильно загрязненные мелкие детали, особенно детали сложной конфигурации, трудно промывать с помощью обычных установок. Значительно эффективнее в этих случаях применять установки с использованием ультразвуковых колебаний высокой частоты. Благодаря этим колебаниям создаются условия, при которых частицы жидкости получают большую скорость и, ударяясь о поверхность детали со значительной силой, разрушают слой грязи или смазки, быстро очищая деталь.

После промывки детали должны быть тщательно просушиваться. Обычно для этой цели используют сжатый воздух, которым обдувают детали. Это целесообразно при сборке перед каждой операцией. Особенно тщательно необходимо продувать отверстия, пазы, канавки и прочие места, где легче всего задерживаются пыль и грязь. Для удобства обдувки каждое рабочее место сборки должно быть оборудовано постом от воздушной магистрали и гибким шлангом, оснащенным устройством револьверного типа – пистолетом. Таким пистолетом удобно пользоваться при обдувке деталей и узлов сложной конфигурации. Удлиненное сопло дает возможность направлять струю воздуха в различные углубления, что не всегда можно делать посредством обычного наконечника. К тому же малый диаметр пистолета позволяет создать сильную струю воздуха.

5.4. Технологический контроль и испытание узлов машин

Контроль, которому подвергается каждый узел и каждая машина, имеет целью определение соответствия точности формы, относительного положения и перемещения их исполнительных поверхностей заданным техническим условиям.

Погрешности, появляющиеся при сборке узлов и машины в целом, могут иметь место в результате неправильных зазоров, неточностей регулировки, перекосов, остаточных напряжений, деформации вследствие сил, приложенных при соединении деталей и т.п.

При контроле сборки отдельных соединений и узлов наряду с универсальными средствами измерений применяются и специальные контрольные приспособления, повышающие точность проверки и уменьшающие время контроля, для чего на сборочных участках и линиях располагаются рабочие места для выполнения контрольных операций.

Если проверкой устанавливается соответствие собранного соединения или узла техническим условиям, то ставится клеймо и контролер подписывается в сопроводительном документе; при обнаружении погрешностей контролер составляет дефектную ведомость и возвращает соединение или узел на сборочный участок для устранения дефектов.

После проверки правильности соединений и узлов собранные механизмы и машины в целом подлежат регулированию и испытанию.

Регулирование устанавливает надлежащее взаимодействие частей и согласованность работы отдельных механизмов.

После регулирования собранная машина поступает на *испытание*, целью которого является проверка правильности работы, мощности, производительности и точности.

В зависимости от вида, назначения и объема производства машины проходят испытание на холостом ходу и в работе под нагрузкой, а также испытание на производительность, жесткость, мощность и точность.

При *испытании на холостом ходу* проверяются все включения и переключения органов управления машины, правильность их взаимодействия и безотказность, а также осуществляется проверка правильности работы подшипников, зубчатых передач и других соединений.

При *испытании под нагрузкой* проверяются качественные показатели машины в условиях, близких к производственным, при этом в разных режимах устанавливается переменная нагрузка. При проведении испытаний определяют ряд эксплуатационных показателей, например, расход горючего, расход масла и др.

При *испытании на производительность* выявляют характерные для этого вида испытаний показатели (скорость, проходимость и др.). Этому виду испытаний подвергаются только опытные образцы и машины специального назначения.

Испытанию на жесткость подвергают, главным образом, металлообрабатывающее оборудование.

Испытанию на мощность подвергают все виды машин при единичном производстве и все или выборочно машины, изготавливаемые в серийном производстве; при этом машине задаются максимальные силы и моменты, имеющие место при ее эксплуатации. Цель этого испытания – определение КПД машины при максимально допустимой нагрузке.

Испытанию на точность подвергают машины, производящие, сортирующие и контролирующие продукцию (станки, сортировочные и контрольные автоматы и полуавтоматы). При этом производится оценка точности машины по результатам ее действия: точности обработки, сортировки и контроля.

В случае обнаружения во время испытаний каких-либо дефектов последние устраняются или непосредственно на стенде, или на сборочном участке, куда машина направляется после снятия с испытательного стенда. После устранения дефектов машина поступает на повторное испытание, а затем на участок окраски для окончательной отделки.

5.5. Окраска машин и консервация

Для предохранения нерабочих поверхностей машин от влияния окружающей среды, а также из соображений эстетики машину окрашивают в соответствующий цвет.

Процесс и способы покраски зависят от характера изделия, производства и требований, предъявляемых к качеству окраски. Подготовка к процессу окраски состоит из очистки и обезжиривания поверхностей, грунтовки, шпаклевки и зачистки шпаклеванных поверхностей абразивным полотном.

Окраску изделий выполняют различными способами: ручным, распылением, окунанием, в барабанах.

Окраска ручным способом, т.е. кистью, применяется в единичном и мелкосерийном производствах. Способ этот трудоемкий, но качество при тщательном выполнении может быть достаточно высоким.

Способ *окраски распылением*, когда жидкая краска в распыленном виде подается сжатым воздухом, более производительен, но требует специально оборудованного помещения с вытяжными устройствами и установками для окраски.

Способ *окраски окунанием*, когда деталь погружают в ванну с краской, применяют в крупносерийном и массовом производствах при окраске деталей простых форм.

Окраска в барабанах и других устройствах применяется для мелких деталей в массовом производстве при неподвижном и подвижном состоянии деталей.

После окраски детали соединения, узлы и машина в целом подвергают или естественной, или искусственной сушке.

Искусственную сушку производят подогретым воздухом (газом, электричеством, паром) в закрытой камере при температуре 55...220°C или рефлектором (специальными электролампами); в этом случае сушка протекает в 2...4 раза быстрее, чем сушка подогретым воздухом.

Применяют также сушку токами высокой частоты и инфракрасными лучами; последний способ используют для сушки деталей, покрытых эмалями.

Консервация представляет собой антикоррозионное покрытие собранных узлов и изделий, подлежащих хранению или транспортировке.

В качестве предохранительной смазки применяют технический вазелин и смеси, содержащие масло, вазелин, канифоль, воск, парафин, олифу и др., детали с наложенной на них смазкой обертывают парафиновой бумагой.

Предохранительные смазки наносят на поверхности деталей распылителем, кистями или посредством окунания деталей в предварительно подогретую смазку.

6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

6.1. Технология изготовления металлоконструкций

Процесс изготовления металлоконструкций (табл. 6.1) состоит из следующих операций:

- заготовительные;
- обработочные;
- сборочные;
- отделочные.

Заготовительные операции

Правка прокатной стали. Листовая и универсальная (широкополосная) сталь может иметь отклонения от плоской формы: поперечные волны по всей ширине (волнистость); поперечные волны от кромок к середине листа; изгиб в плоскости полосы; местные выпучины (хлопуны).

Профильная и фасонная сталь может иметь отклонения от правильной формы: изгиб в одной плоскости; изгиб в двух плоскостях; винтовое искривление; поперечное искажение профиля.

Прокатная сталь правится, главным образом, машинным способом: листовая и полосовая сталь – на листопрямительных вальцах; угловая – на углопрямительных вальцах; балки, швеллеры и другие фасонные профили – на правильно-гибочных прессах.

Ручная правка может применяться для удаления в тонколистовой стали местных выпучин (хлопунов); правки небольших деталей из листов или полос после резки; устранения винтового изгиба уголков; правки местных искривлений.

Листопрямительные вальцы имеют рабочую часть, состоящую из цилиндрических валков, расположенных в шахматном порядке в двух горизонтальных рядах. Число валков колеблется от 5 до 11. Нижние валки приводные, верхние – вращаются вхолостую.

Разметкой называют вычерчивание на заготовке детали в натуральную величину по размерам чертежа. Перенос размеров с помощью шаблонов называют *наметкой* (рис. 6.1).

Резка прокатной стали производится механическим (на ножницах и пилах) и газопламенным способами (на автоматах, полуавтоматах и ручными резаками).

Таблица 6.1

Основные операции технологического процесса производства металлоконструкций

Наименование и назначение операции	Обрабатываемый материал	Применяемое оборудование
<i>I. Заготовительные операции</i>		
Правка прокатной стали – удаление погнутости для обеспечения необходимой точности при разметке, наметке, резке и сборке	Листовая и универсальная сталь; угловая сталь; швеллеры и двутавры; все профили прокатной стали	Листоправильные вальцы; углоправильные вальцы; правильно-гибочные прессы; правильные плиты (для правки мелких деталей)
Разметка и изготовление шаблонов (образцовых деталей или приспособлений) для серийного изготовления однотипных деталей	То же, а также фанера, картон, деревянные рейки	Ручной инструмент мерительный, слесарный, деревообделочный (для изготовления шаблонов из стали, дерева, фанеры и картона)
<i>II. Обработочные операции</i>		
Наметка – перенос (копирование) размеров с шаблона на рядовые детали	Все сорта и профили прокатной стали	Ручной инструмент мерительный и слесарный
Резка – получение деталей необходимых размеров и очертания	Листовая, универсальная и полосовая сталь; угловая сталь; двутавры, швеллеры, трубы; все виды сортового и фасонного проката	Пресс-ножницы, гильотинные ножницы, дисковые ножницы; машины для газопламенной резки; ручные газопламенные резаки; угловые ножовки; дисковые пилы, зубчатые и фрикционные приводные ножовки
Чистовая обработка кромок – для фасонной разделки их под сварку или для обеспечения точности и придания им необходимой формы при плотной пригонке	Листовая и универсальная сталь; фасонная и сортовая сталь	Кромкострогальные, торцефрезерные и продольно-строгальные станки для обработки прямолинейных кромок; токарно-карусельные станки для обработки кромок круговых; машины для газопламенной резки; торцефрезерные станки, пневматические рубильные молотки и наждачно-зачистные станки для зачистки кромок деталей
Образование отверстий	Сварные или клепаные конструкции; все профили прокатной стали	Дыропробивные прессы; радиально-сверлильные станки (стационарные и передвижные)

Наименование и назначение операции	Обрабатываемый материал	Применяемое оборудование
Холодная гибка	Листовая сталь; угловая сталь; двутавры, швеллеры и угловая сталь	Листогибочные вальцы; листогибочные прессы; фланцеотбортовочные станки; углогибочные вальцы; правильно-гибочные прессы
Горячая гибка	Листовая сталь (нагрев в печах и горнах); все профили прокатной стали	Листогибочные вальцы и прессы; фланцеотбортовочные станки; штамповочные и обсадочные гидравлические прессы; пневматические молоты, высадки, малковки и размалковки)
Клепка	Собранные конструкции с прочищенными отверстиями	Ручные пневматические клепальные молотки; клепальные скобы (пневматические или электрические, подвешенные к коньковому или порталным кранам); печи и горны для нагрева заклепок
<i>III. Отделочные операции</i>		
Фрезерование торцов для обеспечения плотного сопряжения в стыках	Сварные или клепаные конструкции	Торцефрезерные станки; загрузочные столы и приспособления для точной установки обрабатываемых элементов
Сверление монтажных отверстий: а) по шаблонам с втулками; б) при общей сборке	Сварные или клепаные конструкции	Накладные шаблоны с втулками; размерные плиты, измерительный и слесарный инструмент; объемные стационарные кондукторы; сверлильное оборудование станочное
Термическая обработка для снятия усадочных напряжений после сварки	Собранные и сваренные конструкции:	Термические печи с выдвигаемым подом
Огрунтовка или окраска (со шпаклевкой), а также покрытие механически обработанных поверхностей жировым составом	Конструкции, готовые к отправке	Краскопульты, ручной малярный инструмент

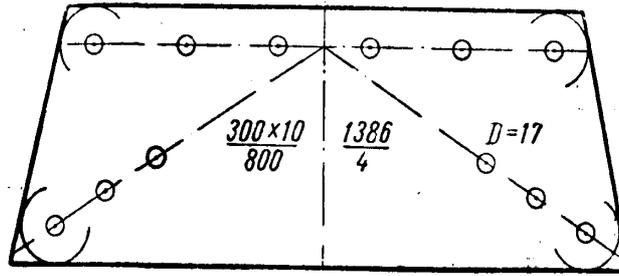


Рис. 6.1. Шаблон на контур сварного элемента и 12 отверстий

Механическая резка. При изготовлении стальных конструкций применяется резка:

а) листовой, полосовой и универсальной стали при толщине металла до 25 мм: *прямолинейная* – на пресс-ножницах, гильотинных и дисковых ножницах; *криволинейная* – на дисковых ножницах;

б) угловой стали всех размеров: *поперечная* – на уголковых ножницах, на фрезерно-отрезных и абразивно-отрезных станках (рис. 6.2).

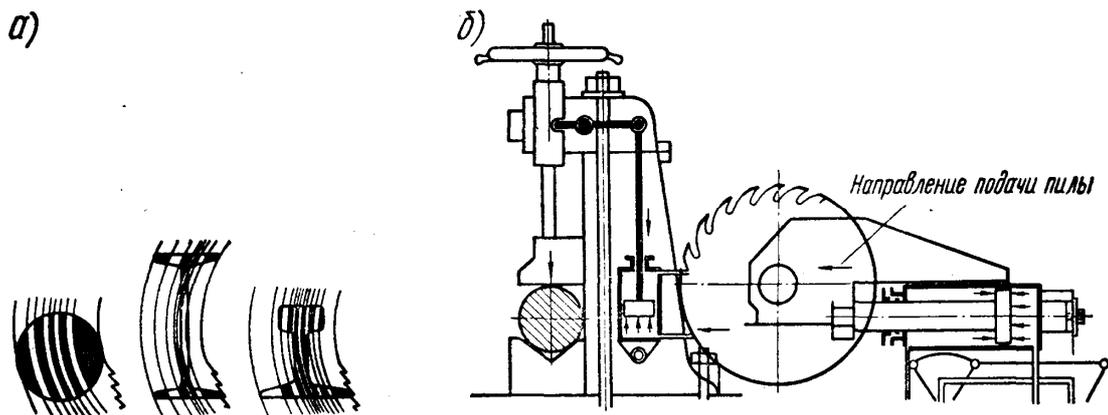


Рис. 6.2. Схема обработки на фрезерно-отрезном станке

в) балок, швеллеров, труб и других фасонных профилей всех размеров: *поперечная* – на фрезерно-отрезных и абразивно-отрезных станках, реже на специальных сортовых ножницах.

Процесс резки на ножницах основан на разделении металла по линии реза под давлением верхнего подвижного ножа. Ножницы всех типов для резки всех сортов прокатной стали имеют два ножа: нижний – неподвижный, устанавливаемый на станине машины, и верхний – подвижной, прикрепляемый к ползуну машины.

Рабочие кромки ножей затачиваются под углом 10...12°, передним граням ножей дается скос 2...3°, зазор между ножами допускается в пределах 0,4...0,6 мм.

Для резки мелких деталей применяются пресс-ножницы с длиной ножей до 600 мм. Пресс-ножницы имеют станину с открытым зевом и ножи, расположенные вдоль или поперек оси станины.

Для резки листовой и широкополосной стали применяются гильотинные ножницы с ножами длиной от 1000 до 3000 мм, имеющие замкнутую станину портального типа и вылет зева от 300 до 750 мм. На гильотинных ножницах, наиболее часто применяемых в производстве металлоконструкций, можно разрезать листы толщиной от 6 до 25 мм и шириной до 3000 мм.

Ножницы для резки угловой стали выпускаются с одним и двумя режущими устройствами: для профиля до 100×100×12 мм – малые модели и до 200×200×25 мм – большие модели.

Листовые дисковые ножницы выпускаются двух типов: с двумя вращающимися дисковыми ножами (верхним и нижним); с верхним дисковым и нижним прямолинейным неподвижным ножом.

Для механизации подачи металла к ножницам ножницы оборудуются роликовыми столами (рольгангами) (рис. 6.3), тележками с роликами, местными подъемными средствами – консольными кранами или кранбалками.

В целях упрощения установки металла под ножи ножницы снабжаются передвигающимися по рольгангам упорами, регулируемым по заданному размеру. При изготовлении металлоконструкций газопламенная резка применяется:

- а) для прямолинейной резки листов в продольном и поперечном направлениях;
- б) фасонной резки по контуру и внутренней вырезки отверстий в листовом металле;
- в) резки профильного металла – поперечной, прямолинейной и фасонной.

Исключительно для прямолинейной резки применяются машины мостового типа.

При газопламенной резке с одновременной обработкой кромок под сварку применяются два резака для односторонней разделки и три резака для двусторонней разделки (рис. 6.4).

При газопламенной резке с разделкой кромок черновая операция (собственно резка) совмещается с чистовой операцией (обработка кромок), что значительно ускоряет и удешевляет эти операции.

Оборудование для газопламенной резки значительно дешевле гильотинных ножниц и кромкострогальных станков.

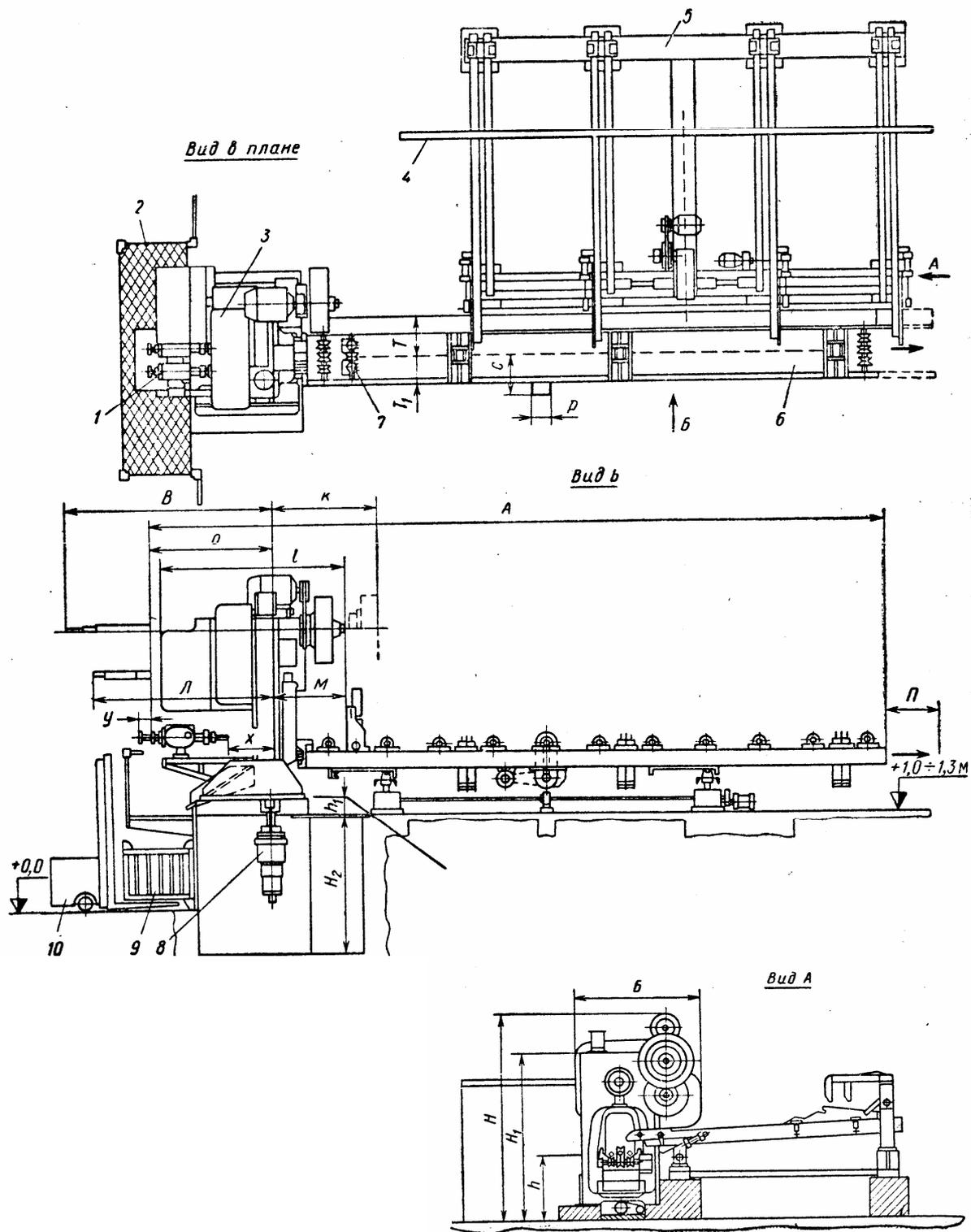


Рис. 6.3. Кривошипные ножницы для резки сортового проката:

1 – пневматические упоры; 2 – площадка для обслуживания ножниц; 3 – кривошипные ножницы; 4 – положение разрезаемого прутка на стеллаже; 5 – механизированный стеллаж; 6 – механизированный рольганг; 7 – пневматические прижимы для удержания разрезаемого прутка; 8 – пневматический цилиндр для поддерживателя заготовки

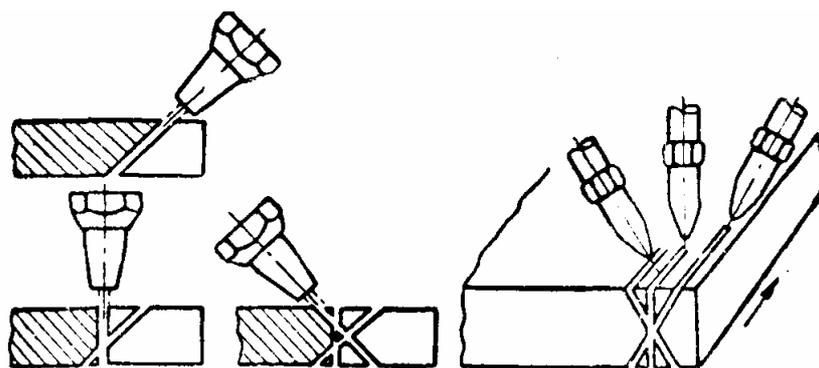


Рис. 6.4. Газопламенная резка с разделкой кромок

Для прямолинейной (ПЛ) и фасонной резок служат передвижные станки пантографного типа, передвижные радиальные и полуавтоматические приборы типа ПЛ с одним или двумя резаками и типа ПС-2 с тремя резаками.

Направляющие, по которым передвигаются газопламенные и копировальные устройства, монтируются на специальных столах. Число резаков может быть доведено до 10...12.

Наибольшее применение получили полуавтоматические приборы ПЛ тракторного типа благодаря их малому весу, небольшой стоимости и широкой универсальности.

В деталях строительных и резервуарных конструкций, у которых кромки после резки должны быть простроганы или фрезерованы, при механической резке кромок даются следующие припуски:

- толщина листа (в мм) $<16 >16$;
- припуск на обработку (в мм) 2...3;

в деталях котельных конструкций:

- толщина листа (в мм) $<8 \ 9 - 10 \ 13 - 20 >20$.

Припуск на обработку (в мм) 6...8...10...12.

Обработка кромок. Чистовая обработка кромок листовых деталей производится:

а) при соединении сварным швом встык листовых деталей толщиной свыше 10...12 мм;

б) для удаления поврежденной зоны плоскости разреза после резки на ножницах или газопламенной резки;

в) обеспечения плотного примыкания;

г) подготовки кромок под чеканку.

Обработка кромок указывается на рабочих чертежах деталей с указанием поперечного разреза профиля.

Криволинейное очертание кромок при чашеобразной разделке делается или фасонными резцами на кромкострогальном станке, или газопламенным способом специальными резаками (рис. 6.5).

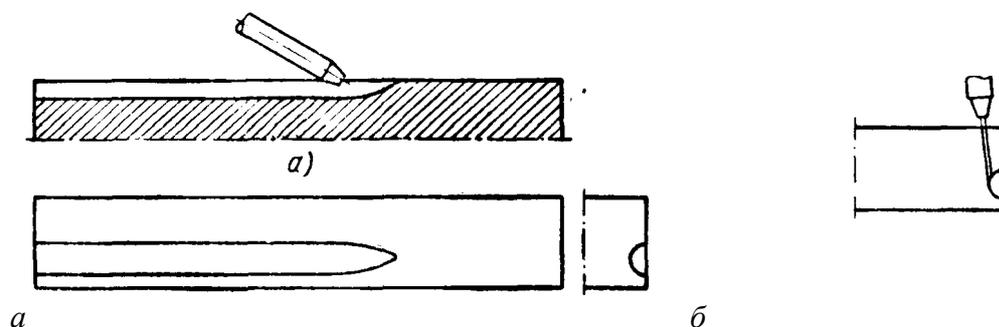


Рис. 6.5. Чашеобразная разделка кромок газовыми резаками:
а – образование желобка; *б* – выполнение разделительного реза

Кромкострогальные станки (рис. 6.6) имеют длину хода резца от 4 до 16 м, чаще всего применяются станки с длиной хода 6...8 м. При строжке прямых кромок широко применяется обработка пакетов листов широким резцом. При фасонной строжке обрабатывается только один лист. Сечение стружки, снимаемой резцом за один проход на разных моделях станков, колеблется от 45 до 70 мм² при стали с пределом прочности при растяжении до 500 МПа. Скорость резания – от 8 до 16 м/мин.

Строжку производят как при прямом, так и при обратном ходе каретки или двумя резцами, работающими каждый в одну сторону, или одним перекидным резцом.

Строжку листов для клепаных конструкций производят после образования отверстий, проверяя шаблоном расстояние до крайнего ряда заклепочных отверстий.

Прямолинейную обработку кромок у деталей незначительной длины производят на торцефрезерных станках пакетами высотой до 700...1000 мм (по величине фрезерной головки).

В деталях из угловой стали обрабатываются кромки:

- 1) обушка для стыковых уголков;
- 2) торцов при точной пригонке опорных уголков и ребер жесткости в составных сечениях.

Размеры строганных или прошедших чистовую газопламенную обработку деталей могут иметь допуск в пределах: $\pm 2,0$ мм и кривизну кромок до 1/2000 длины обработанной кромки, но не более 2,0 мм.

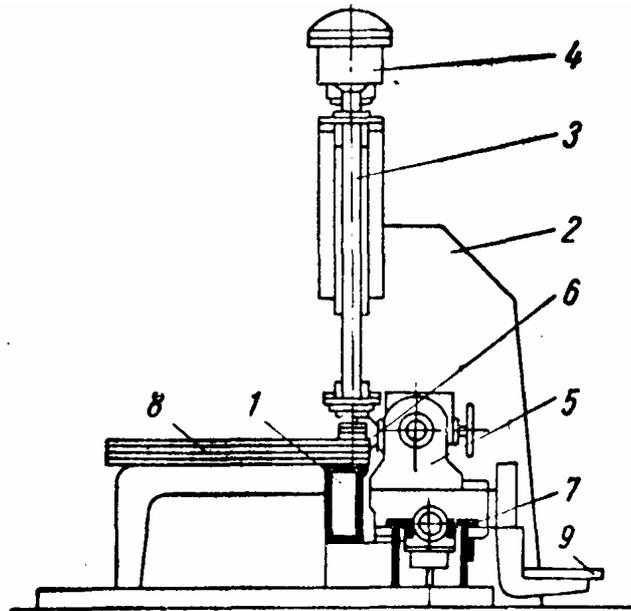


Рис. 6.6. Кромкострогальный станок:

1 – загрузочный стол; 2 – стойка станины; 3 – продольная траверса станины; 4 – прижимные устройства; 5 – каретка с суппортом; 6 – резцы; 7 – направляющие каретки; 8 – обрабатываемые листы; 9 – платформа каретки

Образование отверстий. При обработке деталей клепаных конструкций образование отверстий для заклепок является одной из основных и трудоемких операций. В сварных конструкциях эта операция имеет второстепенное значение.

Отверстия пробивают на пробивных прессах (более производительная и более дешевая операция) или сверлят. Повышение точности в расположении отверстий в большинстве случаев представляет возможность пробивать отверстия сразу на проектный диаметр, что позволяет ограничиться только прочисткой отверстий при сборке вместо рассверливания.

Штемпели и матрицы для пробивки отверстий изготавливаются из инструментальной углеродистой стали У8А и У10А или из легированной стали 5ХВС и Х12М.

В серийном производстве при большой повторяемости деталей применяют сверление пакетами на полный диаметр по кондукторам, что обеспечивает точное положение отверстий в деталях и без рассверливания (рис. 6.7).

Режущим инструментом при сверлении служат спиральные сверла с коническим хвостовиком по ГОСТ 888-41 и 2034-53.

Для сверления отверстий применяют стационарные и передвижные радиально-сверлильные станки с вылетом от 1,5 до 2,5 м.

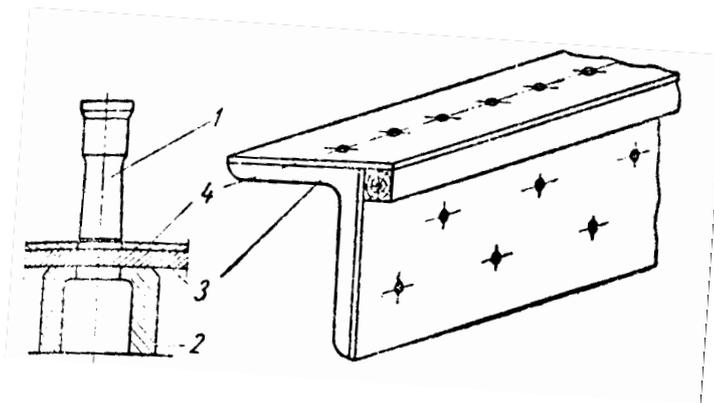


Рис. 6.7. Пробивание отверстий по картонному или фанерному шаблону:
1 – штемпель; 2 – матрица; 3 – обрабатываемый материал; 4 – фанерный шаблон

Холодная гибка. Процесс холодной гибки и правки стали вызывает пластические деформации при напряжениях, близких к состоянию текучести металла. Для малоуглеродистой стали предел текучести на диаграмме растяжения соответствует остаточным деформациям, равным 2...3%.

Остаточные деформации при холодной гибке не должны выходить за пределы площадки текучести. Принимая наибольшее удлинение $\varepsilon = 0,02$, получим наименьший допустимый радиус гибки стали в холодном состоянии (табл. 6.2).

При холодной гибке допускаются следующие наибольшие стрелы прогиба f при хорде l :

- 1) для листов и симметричных профилей высотой h

$$f = \frac{l^2}{200h} \text{ мм};$$

- 2) для швеллеров, уголков и других несимметричных профилей с высотой полки b

$$f = \frac{l^2}{360b} \text{ мм}.$$

При меньших радиусах кривизны или больших стрелах прогиба гибка должна производиться в горячем состоянии.

Основные виды холодногибочных работ, применяемых в производстве резервуарных конструкций (вальцовка обечаек на цилиндр и усеченный конус по замкнутой или открытой кривой), выполняются на трехвалковых листогибочных вальцах (рис. 6.8).

В трехвалковых вальцах два нижних валка вращаются в одном направлении. Верхний валок вращается благодаря трению между ним и изгибаемым листом. Изгиб листа достигается нажимом верхнего передвигного валка на лист.

Наименьший допустимый радиус гибки стали в холодном состоянии

Профиль стали	Наименьший радиус гибки, мм	Примечание
Листовая, полосовая	25δ	Гибка в плоскости стенки
Двутавры	$25h$ $25b$	
Швеллеры	$25h$ $45b$	Гибка в плоскости стенки
Угловая	$45a$	Гибка на ребро полок В среднем для всех размеров

Обозначения (в мм): δ – толщина металла; h – высота двутавра или швеллера; b – ширина полки двутавра или швеллера; a – ширина полки уголка.

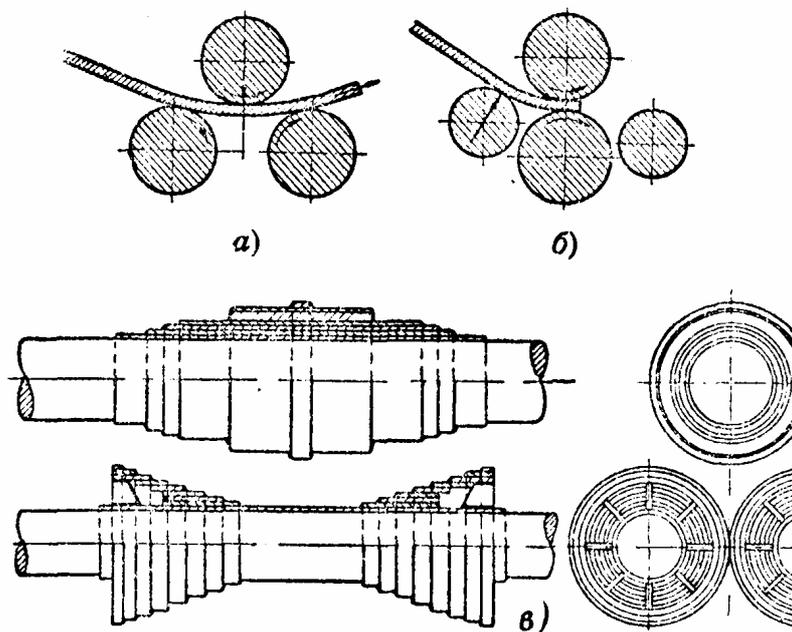


Рис. 6.8. Схемы гибки листов на листогибочных вальцах:
а – с тремя вальцами; б – с четырьмя вальцами; в - гибка сферических поверхностей

В четырехвалковых вальцах лист зажимается между двумя средними вальцами, вращающимися в разные стороны и, перемещаясь в сторону вращения валков, изгибается под нажимом снизу одного из боковых валков.

Изгиб на заданный диаметр осуществляют в несколько проходов, изменяя направление движения валков путем переключения фаз у двигателя. Минимальный диаметр вальцованного листа на 10...15% больше диаметра верхнего валка.

Правильность гибки проверяется стальным или деревянным шаблоном.

Горячая гибка. Основные виды горячей гибки, наиболее распространенные при изготовлении плоских листовых конструкций, изображены на рис. 6.9.

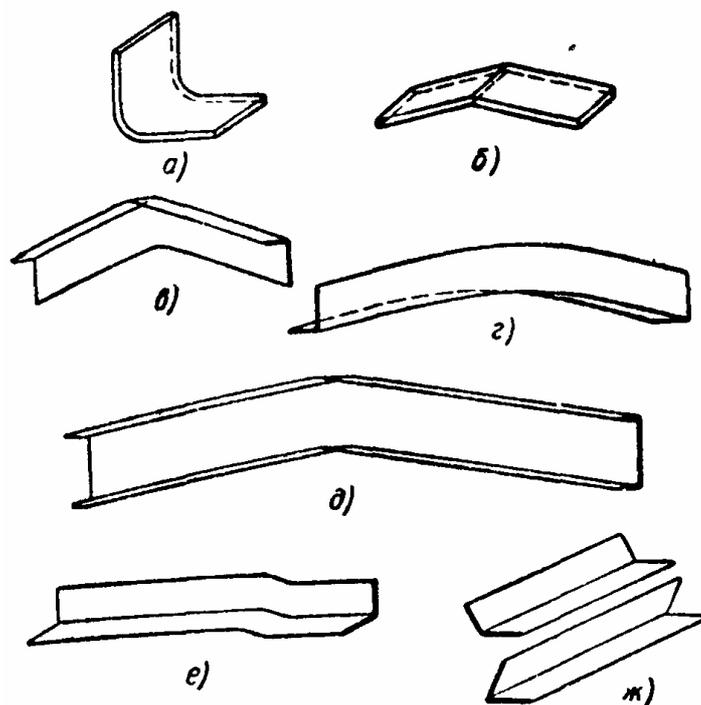


Рис. 6.9. Виды горячей гибки деталей плоских конструкций:
а – гибка листа по кривой; *б* – изгиб листа под углом; *в* – изгиб уголка по кривой полкой внутрь; *г* – изгиб уголка по кривой полкой наружу; *д* – изгиб швеллера в плоскости стенки; *е* – высадка уголков; *ж* – смалковка и размалковка уголков

Детали, проходящие горячую гибку, нагревают в печах или горнах до температуры 1000...1100°С, обеспечивающей в конце гибки температуру не ниже 700°С.

Детали, проходящие горячую гибку, нагревают в печах или горнах до температуры 1000...1100°С, обеспечивающей в конце гибки температуру не ниже 700°С.

Горячая гибка деталей плоских конструкций осуществляется вручную по шаблонам, прикрепленным к гибочным плитам (рис. 6.10).

В зависимости от формы, размеров, повторяемости элементов и характера производства *сборочные операции* могут происходить или в один прием, или отдельно: сначала сборка узловая, а затем сборка из готовых узлов всего изделия.

Сборка плоских стальных конструкций. Сборка плоских сварных конструкций может осуществляться:

- по разметке;
- по контрольным отверстиям;
- при помощи шаблонов, упоров, кондукторов и других специальных сборочных приспособлений, облегчающих и упрощающих сборку.

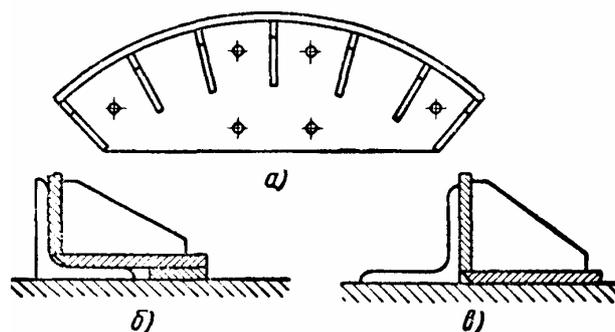


Рис. 6.10. Шаблон для горячей гибки уголков:
 а – вид сверху; б – шаблон для гибки полкой внутрь;
 в – шаблон для гибки полкой наружу

Сборка по разметке применяется при производстве единичных изделий, а также в случаях, когда первый экземпляр изделия, собранный по разметке, служит затем шаблоном для остальных однотипных конструкций.

По контрольным отверстиям производится сборка таких конструкций, в которых возможно использование имеющихся отверстий как установочных при сборке.

Для сборки конструкций применяются стяжные, прижимные и распорные сборочные приспособления (рис. 6.11).

Сплошные листовые конструкции двутаврового, коробчатого, крытного или крестового сечений, состоящие из листовых и полосовых деталей, собираются в серийном производстве в кондукторах с винтовыми или пневматическими прижимами, а также в установках с передвижным порталом (рис. 6.12).

Сборка клепаных конструкций состоит в совмещении отверстий в смежных деталях и скреплении их между собой болтами, оправками и пробками. В зависимости от сложности конструкций производится сборка или всего сечения в целом, или путем членения на отдельные элементы исходя из возможности выполнения прочистки отверстий и клепки.

В целях равномерного уменьшения влияния ошибок в расположении отверстий в деталях при их совмещении закрепление болтами деталей при сборке начинается с середины элемента. Сборочные болты устанавливаются в 25...30% отверстий. Для предотвращения сдвигов в часть отверстий забиваются штифты.

Клепка стальных конструкций. В производстве стальных конструкций применяют горячую клепку заклепками, нагретыми до температуры светлокрасного каления (1050...1150°С) при ручной клепке и до вишневого каления 650...670°С при машинной клепке. Холодная клепка имеет ограниченное применение для заклепок диаметром до 13 мм.

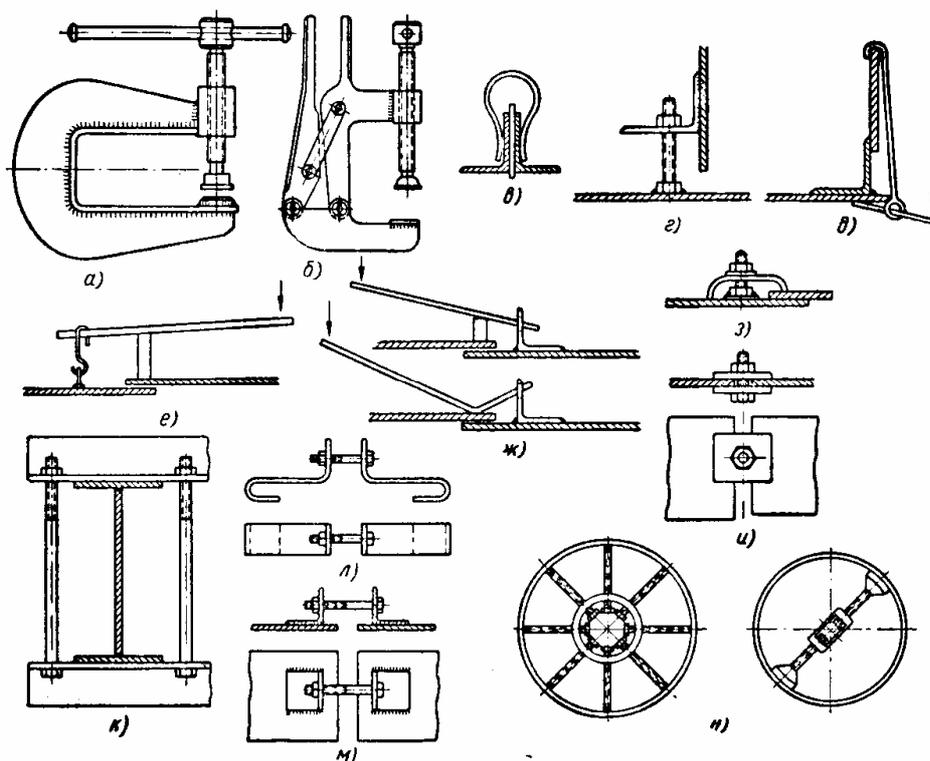


Рис. 6.11. Приспособления для сборки сварных конструкций:
а и *б* – струбины; *в* – клямеры; *г* – *и* – прижимные устройства;
к – рамки; *л* и *м* – стяжные приспособления; *н* – распорки

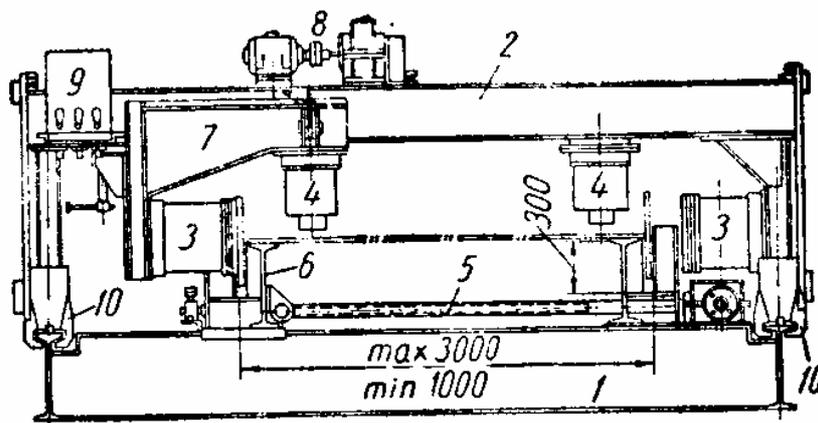


Рис. 6.12. Сборочная установка с подвижным порталом:
 1 – база установки; 2 – передвижной портал; 3 – пневматические цилиндры горизонтальные; 4 – пневматические цилиндры вертикальные; 5 – установочные винты, регулирующие поперечные размеры; 6 – опоры для стенки собираемой конструкции; 7 – конструкция для передвижения цилиндров 3 и 4 в поперечном направлении; 8 – мотор с редуктором; 9 – пульт управления; 10 – захватные приспособления

Отделочные операции. Фрезерование торцов. В конструкциях, работающих на значительную нагрузку (колонны доменных и мартеновских цехов или высотных зданий, элементы гидротехнических и специальных конструкций), для обеспечения передачи сжимающих сил через торцы производят на торцефрезерных станках чистовую обработку торцевых поверхностей законченных конструкций.

Используются торцефрезерные станки с фрезерной головкой диаметром от 800 до 1700 мм. Каретка с планшайбой имеет горизонтальное перемещение от 2000 до 5400 мм.

Более чистую поверхность и лучшую точность дают торцефрезерные станки с торцевой фрезой диаметром 150...250 мм, имеющей координатное движение по высоте до 1800 мм и горизонтальное до 3400 мм.

Обработка торцевой поверхности должна производиться с одной установки. Станки оборудуются тяжелыми, точно выверенными, грузочными столами, на которые укладывается обрабатываемая конструкция.

Допускаемые отклонения на обработку торцевых поверхностей:

- длина элемента при двух фрезерованных торцах ± 2 мм;
- зазор между фрезерованной плоскостью и наложенной на нее в любом направлении стальной линейкой $< 0,3$ мм;
- уклон фрезерованной плоскости к оси элемента $\leq 1/1500$.

Для обработки круговых кромок обечаек и днищ барабанов котлов применяют токарно-лобовые и токарно-карусельные станки (для обечаек диаметром 700...2500 мм и толщиной до $\delta = 70$ мм).

Образование монтажных отверстий

Отверстия для монтажных соединений в конструкциях могут выполняться двумя способами:

1) индивидуальной пригонкой монтажных узлов при общей сборке путем рассверливания до проектного диаметра отверстий, заранее пробитых или просверленных в деталях на меньший диаметр.

2) сверлением монтажных отверстий в деталях по кондукторам; при этом все одинаковые элементы конструкций получают взаимозаменяемыми (рис. 6.13).

Термообработка после сварки. Термообработка для снятия внутренних напряжений после сварки применяется при изготовлении барабанов паровых котлов из углеродистой (при толщине стенки свыше 20 мм) и легированной (при толщине стенки свыше 10 мм) стали.

Для плоских конструкций термообработка после сварки применяется лишь по специальным техническим условиям (ТУ) для особо ответствен-

ных конструкций из металла значительной толщины, работающих под динамической или знакопеременной нагрузкой.

Термообработка производится в печах с выдвижным подом. Размеры печей выбираются по наибольшему обрабатываемому изделию.

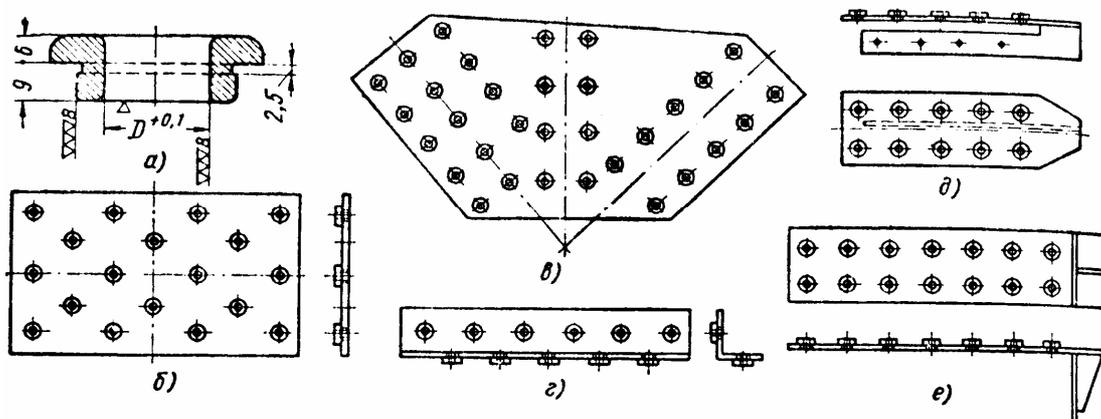


Рис. 6.13. Кондуктора для сверления монтажных отверстий в стыках:
 а – кондукторная втулка; б, в, г, д, е – кондуктора

Режим термообработки малоуглеродистой стали:

- медленный нагрев до температуры 600...650°C;
- выдержка в течение 0,4 ч на 1 см толщины металла;
- охлаждение с печью до 300...400°C;
- охлаждение на воздухе.

Методы контроля качества металлоконструкций

Промежуточный контроль. При изготовлении металлоконструкций принят следующий порядок промежуточного контроля:

1. *Контроль материалов* (прокатной стали, заклепок, электродов, сварочной проволоки, флюсов и отдельных компонентов обмазок), осуществляемый внешним осмотром и путем механических испытаний, химического анализа, пробы на свариваемость.

2. *Пооперационный контроль заготовительных и обработочных операций*, состоящий в проверке соответствия обработанных деталей чертежам и техническим условиям. Производится в цехе перед выдачей деталей на сборку.

3. *Контроль собранной сварной конструкции перед сваркой*, заключающийся в проверке правильности основных размеров конструкции и взаимного положения элементов.

4. *Контроль сварочных работ в процессе их выполнения*, осуществляемый путем проверки режима сварки; последовательности наложения

швов, выполняемых послойно; соответствия применяемых электродов, проволоки и флюса и их качества; соответствия сварочной аппаратуры и квалификации сварщиков.

5. *Контроль собранной клепаной конструкции* перед рассверливанием или перед прочисткой отверстий, производимый путем проверки правильности основных размеров конструкции, плотности пригонки деталей и точности совпадения отверстий.

6. *Контроль собранной конструкции* перед клепкой, заключающийся в проверке качества отверстий, плотности пригонки деталей и очистки от заусенцев, стружки, грязи, ржавчины.

7. *Приемосдаточный контроль готовых изделий.*

Сварные конструкции. После окончания сварки производится общий контроль сварных изделий, предусматривающий осмотр швов, испытание их на плотность, гидравлическое испытание, ультразвуковой или рентгеновский контроль однородности внутренней структуры материала и механические испытания образцов.

Дефекты сварных швов подразделяются на наружные и внутренние.

Наружными дефектами шва являются: а) незаплавленные кратеры, нечистая и неровная поверхность шва; б) подрезы основного металла у границ шва; в) пористость наружного слоя шва, наружные трещины в шве и около шва; г) неравномерность ширины и высоты шва; д) несоответствие размеров шва требуемым размерам по проекту.

Допускаются следующие отклонения в размерах сварных швов против проектных размеров.

Сечение стыковых швов: а) по высоте усиления и подварки до 1 мм и б) по ширине усиления и подварки до 2 мм.

Высота валиковых швов при соединении внахлестку и втавр ± 1 мм.

Глубина провара должна быть не менее 1,5 мм.

Подрезы основного металла при толщине до 10 мм – не более 0,5 мм и при толщине 10 мм и более – до 1,0 мм.

Обмер швов производится шаблоном. Высверливание швов выполняется сверлом диаметром на 2 – 3 мм более ширины шва с последующим травлением.

К внутренним дефектам шва относятся:

- а) неудовлетворительный провар;
- б) внутренние поры и трещины в наплавленном металле;
- в) включения шлака и других примесей;
- г) несплавление многослойного шва;

Обнаруженные дефектные места швов вырубаются и завариваются вновь. Сварщики обязаны поставить на конструкциях присвоенные им клейма, опись которых завод выдает заказчику.

Клепанные конструкции. Общий контроль клепаных конструкций состоит в осмотре и проверке качества заклепочных соединений.

Основные требования:

1) заклепки должны быть плотно посажены и не должны дрожать при остукивании молотком;

2) головки заклепок должны быть полномерными, без зарубок и вмятин, плотно прижатыми по окружности и расположенными центрально по отношению к оси стержня.

Не допускаются и подлежат замене заклепки слабо натянутые и дрожащие, с неплотно прижатыми и подчеканенными головками, а также пережатые. Удаление дефектных заклепок производится без повреждения основного металла.

6.2. Изготовление базовых деталей – станин и рам

Назначение станин и рам – координировать основные узлы и механизмы машины, а в некоторых случаях и направлять их движение.

Станины и рамы самых разнообразных машин, кроме нестационарных, являются как бы основанием для компоновки всей машины, а сами они устанавливаются на фундамент или непосредственно на пол цеха. Рамы нестационарных машин (транспортных, хозяйственных, строительных) устанавливаются на ходовую часть (тележки или непосредственно на оси колес) и обычно называются шасси или корпусом.

Несмотря на внешние отличия, станины или рамы нестационарных машин имеют в основном те же конструктивные элементы, что и стационарные машины.

Например, сравнивая сварную раму нестационарного дизеля (рис. 6.14) со сварной станией стационарного многошпиндельного автомата (рис. 6.15), можно видеть, что у обеих имеются основные плоскости *A*, на которые устанавливают раму или станину, плоскости *B*, к которым крепят различные узлы, и многочисленные, расположенные с разных сторон крепежные отверстия (рис. 6.16).

При всем большом разнообразии конструкций станин можно выделить два основных класса:

– станины, служебное назначение которых состоит только в координировании узлов и механизмов машины;

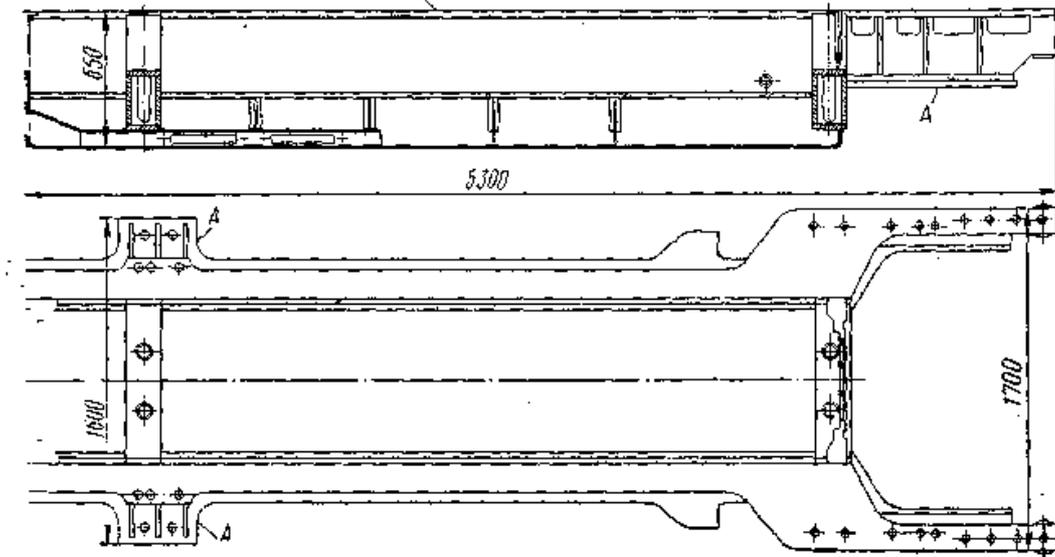


Рис. 6.14. Рама дизеля электровоза

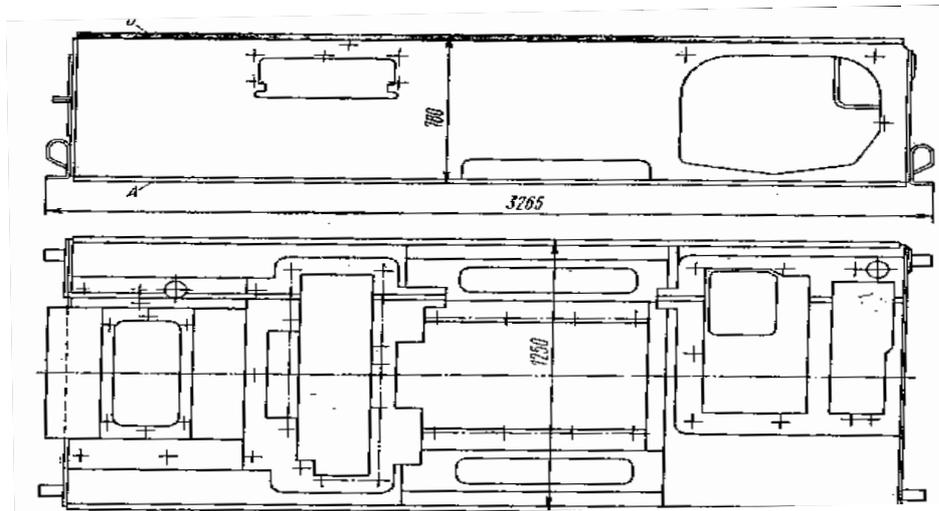
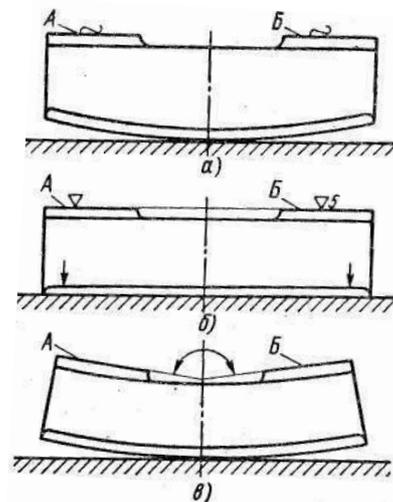


Рис. 6.15. Станина станка-автомата

Рис. 6.16. Деформация станины при закреплении на столе станка



– станины, в служебное назначение которых входит, кроме координирования, направление движения узлов машины, например, станины токарных, строгальных, карусельных и других станков. К этому же классу относятся и станины, имеющие отверстия для направления (через подшипники) движения валов, например, станины горизонтально-фрезерных станков.

У станин обоих классов всегда имеются следующие поверхности: основание – плоскость, которой она устанавливается на фундамент или на пол (основная база); привалочные плоскости, служащие для координирования смонтированных на станине узлов (вспомогательные базы); крепежные отверстия для болтов и винтов, предназначенных как для крепления самой станины (например, к фундаменту), так и для прикрепления к ней сопряженных узлов и деталей.

У станин второго класса, кроме перечисленных поверхностей, имеются направляющие – поверхности, назначение которых – направлять движение узлов машины, и главные отверстия, предназначенные для направления движения валов и шпинделей.

Технические условия на изготовление станин устанавливают, исходя из их служебного назначения, причем некоторые пункты перечисленных ниже технических условий для той или иной станины можно исключать.

Кроме того, допускаемые отклонения по отдельным пунктам технических условий могут иметь различные числовые значения. Например, если какая-либо привалочная плоскость у станины предназначена для прикрепления крышки, то для такой плоскости можно не давать технических условий. Если привалочная плоскость служит для прикрепления ответственного механизма, то технические условия для нее обязательны.

Как уже указывалось, основание станины служит для установки ее на фундамент или на пол цеха, поэтому для этой поверхности не следовало бы устанавливать никаких технических условий, ее можно было бы и не обрабатывать. Однако на практике в большинстве случаев на поверхность основания дано техническое условие – плоскостность δ мм на 1000 мм. Это объясняется тем, что основание такой станины многократно используют в качестве технологической базы при обработке на различных операциях. Таким образом, этот пункт технических условий вызван не служебным назначением станины, а технологией ее изготовления. Характер допускаемого отклонения от плоскостности, т.е. выпуклость (в сторону плюс) или вогнутость (в сторону минус) и его величина могут быть установлены только опытным путем с учетом конструкции станины и технологического процесса ее обработки.

Технические условия на правильность относительного положения привалочных плоскостей целиком зависят от требований, предъявляемых к относительному положению сопряженных узлов.

Например, если на привалочных плоскостях *A* и *B* смонтированы узлы, у которых на выходных валах находятся зубчатые колеса, то плоскость *B* должна быть параллельна плоскости *A* (рис. 6.17, *a*), а плоскость *B* перпендикулярна ей (рис. 6.17, *б*). Допускаемые отклонения от параллельности или перпендикулярности в этих случаях должны оставлять лишь часть допускаемых отклонений от параллельности или перпендикулярности осей самих зубчатых колес, т.к. другая часть этой погрешности должна быть зарезервирована для узлов. Типовыми техническими условиями на направляющие станин являются точность формы, точность относительного положения отдельных поверхностей направляющих, качество поверхности.

Точность формы направляющих регламентируется как прямолинейность (для направляющих поступательного движения) или как некруглость (для направляющих вращательного движения). Установившийся на практике термин «прямолинейность» подчеркивает, что направляющая в первую очередь должна быть прямолинейна в направлении движения сопряженного узла, а отклонения от плоскостности в других направлениях имеют второстепенное значение.

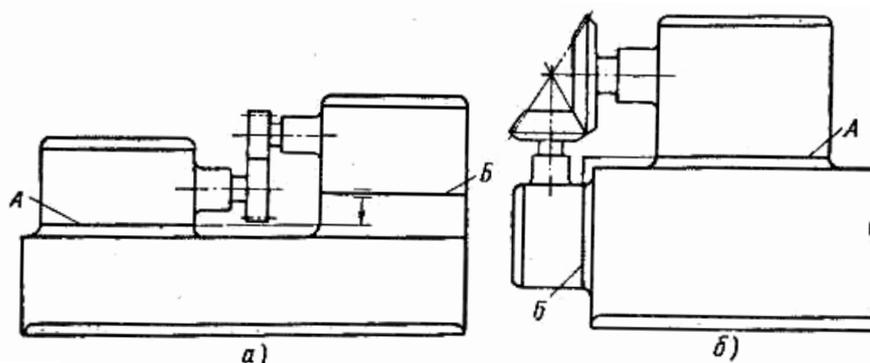


Рис. 6.17. Схема для обоснования технических условий на параллельность/перпендикулярность плоскости *B* относительно плоскости *A*

Техническое условие на прямолинейность направляющих вызвано необходимостью обеспечить прямолинейную траекторию движения сопряженного узла, если его длина намного меньше длины станины (например, салазки суппорта токарного станка), или необходимостью повысить износостойкость станины, если длина сопряженного узла близка к длине станины (например, стол продольно-строгального станка). В последнем

случае, если направляющие имеют местные отклонения от прямолинейности (рис. 6.18), траектория движения стола может быть прямолинейной, но износ обеих сопряженных поверхностей будет возрастать вследствие уменьшения площади контакта.

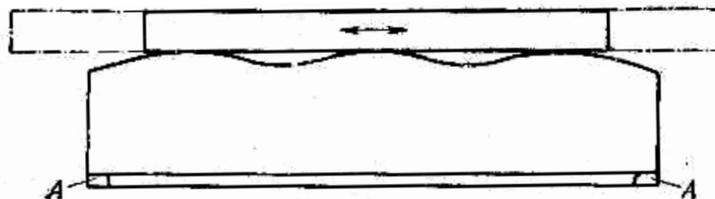


Рис. 6.18. Влияние волнистости на траекторию движения сопряженного узла

Допускаемое отклонение от прямолинейности зависит от необходимой точности траектории движения сопряженного узла и от класса машины. Например, для станин координатно-расточных станков допуск на прямолинейность направляющих – 4 мкм на 1000 мм, а для станины лесопильной рамы этот допуск в десятки раз больше. Кроме величины допуска часто указывают и его знак: обычно (+) «выпуклость», что имеет целью удлинить срок службы станины, т.к. при износе будет образовываться вогнутость.

Под термином «круглость» для направляющих вращательного движения понимается соблюдение правильной окружности в различных сечениях, параллельных какой-либо торцовой плоскости, принятой за базу. Если эта торцовая плоскость является частью направляющих, то к ней предъявляется требование плоскостности.

Обоснования технического условия на «круглость» и принципы определения допускаемого отклонения аналогичны указанным для направляющих.

Техническое условие на точность относительного положения отдельных поверхностей направляющих сводится к требованию соблюдения параллельности, перпендикулярности или заданного угла между ними. Необходимо помнить, что понятие «параллельность направляющих» в технике часто не совпадает с геометрическим понятием «параллельность плоскостей». Например, для направляющих станины токарного станка (рис. 6.19) считается правильной следующая формулировка технического условия: плоскость *В* должна быть параллельна призматической направляющей *А*; допускается отклонение δ мм на 1000 мм (в действительности эти плоскости пересекаются).

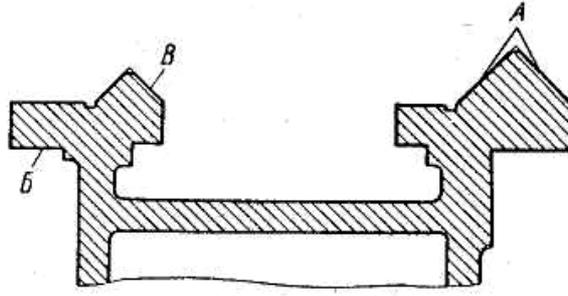


Рис. 6.19. V-образные направляющие токарного станка.
Профиль, в котором необходима параллельность плоскости *B* и призмы *B* к призме *A*

Технические условия на параллельность направляющих вызваны необходимостью обеспечить: а) параллельность перемещения двух различных узлов, например, если по призматической направляющей *A* перемещаются салазки суппорта, а по направляющей *B* – задняя бабка; б) равномерность зазора между перемещаемым узлом и станиной. На рис. 6.19 по направляющей *B* скользит прижимная планка салазок; если *B* не будет параллельна *A*, то движение салазок будет происходить при неравномерном зазоре.

Требование перпендикулярности отдельных плоскостей направляющих объясняется необходимостью сохранить равномерность зазора между трущимися поверхностями.

Технические условия на качество поверхности направляющих вызваны стремлением повысить их износостойкость и определяют: а) шероховатость поверхности (обычно 7...8-го классов чистоты, а для некоторых особо точных машин – до 12-го класса); б) твердость (обычно HB 180...210 для чугунных направляющих, а для стальных закаленных – и зависимости от марки стали); в) характер штрихов на поверхности. Связь первых двух технических условий с износостойкостью общеизвестна. Прогрессивное направление в области изготовления станин заключается в дальнейшем повышении класса чистоты обработки и твердости поверхности. Что касается характера штрихов на поверхности, то, как показали исследования ЭНИМСа, этот фактор также влияет на износостойкость поверхностей направляющих. Например, при обработке сопряженной детали шлифованием и при смазке веретенным маслом наименьший износ показали направляющие с беспорядочными штрихами, полученными после шабрения; износ направляющих с перекрестными штрихами после торцового шлифования оказался в 1,4 раза больше, а износ направляющих с продольными штрихами после периферийного шлифования был в 3 раза больше.

На крепежные отверстия станин технические условия обычно не задаются, т.к. эти отверстия мало влияют на выполнение станиной ее слу-

жебного назначения и, кроме того, при обработке на станках они получают достаточно точными.

Станины любого назначения могут быть сконструированы как литые или как сварные. Таким образом, уже в процессе конструирования пред-решается вопрос о виде заготовки. Основанием для выбора одного из этих двух видов заготовок являются конструктивные и экономические расчеты.

Литые станины делают из алюминия, стали и чугуна. Алюминиевые станины в машиностроении применяются крайне редко, исключительно для нестационарных (транспортируемых) машин, где их применение обосновано малым весом. Их можно встретить в некоторых агрегатах оборудования самолетов, морских и речных судов. Стальные литые станины применяют лишь в исключительных случаях, когда они подвергаются чрезвычайно большим нагрузкам, особенно ударным, например, в некоторых типах горизонтально-ковочных машин.

Основное применение в машиностроении имеют чугунные литые станины, т.к. их редко приходится рассчитывать на прочность, чаще – на жесткость (по служебному назначению). Для большинства типов станин без направляющих вполне удовлетворителен чугун среднего класса СЧ 15. Для станин, подверженных большим нагрузкам, где необходима повышенная прочность, экономически целесообразно применение модифицированных чугунов от СЧ 21 до СЧ 32. Назначая такой материал, конструктор может уменьшить вес станины. Для станин с направляющими для повышения их износостойкости целесообразно применение только модифицированных чугунов указанных выше марок, а в некоторых случаях – высокопрочных чугунов, например, ВЧ 50.

Отливки станин относятся к категории средних и крупных, а их производство – к типу мелкосерийного или серийного и, как исключение, крупносерийного. В большинстве случаев отливки станин получают ручной формовкой по деревянной модели в парных опоках, а отливки особенно больших размеров – методами формовки в песчано-глинистые формы. По мере возрастания серийности производства становятся экономичными металлические модели.

Машинная формовка, экономичная при достаточной серийности производства, осуществляется в основном пескометами. Станины небольших размеров формуют на встряхивающих формовочных машинах.

Заливку, как правило, следует производить в сухие или подсушенные формы. Сырые формы допустимы лишь для неотчетственных станин небольших размеров. При заливке наиболее рационально располагать станину основанием вверх. В этом случае расположенные внизу формы, привалоч-

ные плоскости или направляющие будут иметь более плотную структуру и меньше литейных пороков. Для станин с направляющими целесообразно закладывать в форму кокильные пластины (холодильники), соответствующие по конфигурации направляющим. Это повышает качество чугуна на направляющих и увеличивает его твердость на 10...30 единиц по Бринеллю.

При формовке сложных станин приходится устанавливать многочисленные стержни и удалять отъемные части модели. Здесь неизбежны смещения тех и других, приводящие к значительным погрешностям формы и размеров отливки. Учитывая эти погрешности, а также несовершенство методов формовки, следует назначать большие припуски на обработку, достигающие у крупных деталей до 20...25 мм на сторону. У станин средних размеров при серийном производстве, т.е. с применением более совершенной технологии литья, максимальный припуск составляет 8 мм.

Из-за описанных выше характерных особенностей таких отливок необходимо обеспечивать тщательную очистку их (в пескодробеструйных камерах) и обрубку.

В отливках станин, как правило, имеются значительные остаточные напряжения, вследствие которых вполне законченная, сданная на склад готовой продукции отливка деформируется иногда в продолжение нескольких суток. В связи с этим для ответственных станин предусматривают старение отливок – естественное (в течение возможно более длительного срока) или искусственное.

Искусственное старение производят нагревом в печах при определенном тепловом режиме, зависящем от химического состава чугуна и веса отливки. Например, для станин из чугуна СЧ 21 весом от 2 до 4 т применяют следующий тепловой режим: температура в печи при загрузке 200...230°C; скорость нагрева 80...100°C в час до температуры 550°C; выдержка при этой температуре в течение 4...5 ч; остывание с печью в течение 6...8 ч до температуры 150°; выгрузка из печи. Для других марок чугуна и иного веса станины тепловой режим отличается от указанного, хотя и незначительно.

Для сварных станин в большинстве случаев применяют листовую сталь Ст.3, а для станин, подверженных большим нагрузкам, сталь Ст.5. Наиболее часто используют листы толщиной от 10 до 15 мм и только для отдельных утолщенных деталей до 25 мм. В некоторых сварных станинах тяжелых машин, например, для гидравлических прессов большой мощности, применяют листовую сталь толщиной до 50 мм.

Сварные станины сваривают из большого числа отдельных деталей. Большинство деталей изготавливаются из листовой стали, однако часто применяют детали из прутка (бобышки) и труб. Все эти детали должны

быть вырезаны из исходного материала, лишь некоторые – обработаны под сварку (гибка фигурных деталей, механическая обработка кромок). Поэтому трудоемкость заготовки деталей для сварной станины бывает больше трудоемкости самой сварки. Наиболее производительна резка деталей из листа на пресс-ножницах, гильотинных и дисковых ножницах. Часто детали режут ручными ацетиленокислородными резаками по разметке или на машинах с применением шаблонов.

Сборку станин под сварку в условиях единичного и мелкосерийного производства выполняют, как правило, посредством ручных универсальных приспособлений – струбцин, стяжек, клиньев. Применение сварочных приспособлений, ориентирующих соединяемые детали, экономично только при достаточной серийности производства. Детали соединяют, главным образом, ручной электродуговой сваркой, газовую сварку используют как исключение. Автоматическая сварка таких сложных деталей, как станины, находит применение в некоторых случаях лишь при достаточной серийности производства, т.к. наладка оборудования требует много времени и, как правило, связана с первоначальными затратами на специальные устройства для направления относительного движения автоматической сварочной головки.

В сварных станинах всегда возникают значительные остаточные напряжения, под действием которых уже по окончании сварки станина оказывается деформированной (особенно часто происходит скручивание вдоль продольной оси) до 3...5 мм на 1 п.м. При последующей механической обработке деформации под действием остаточных напряжений могут еще возрасти. Поэтому для ответственных станин предусматривают термическую обработку в печах для снятия остаточных напряжений.

Припуски на обработку станин в единичном производстве для крупных станков 12...25 мм на сторону, для средних станков в крупносерийном производстве – 6...8 мм.

В единичном и мелкосерийном производстве станины обрабатываются по разметке на универсальных станках с применением простейших приспособлений. В крупносерийном производстве применяют высокопроизводительные многошпиндельные станки и приспособления с механическими и другими приводами (табл. 6.3).

Обработка станин в единичном и мелкосерийном производстве начинается с разметки, которая заключается в нанесении рисок рейсмасом. При разметке проверяют геометрические размеры и правильность формы главных элементов отливки с выявлением образованных стержнями перекосов внутренних плоскостей отливки относительно внешних плоскостей, а также равномерно распределяют припуски на обработку. С помощью

разметочных рисок устанавливают отливку станины на станках на первых операциях и проверяют правильность положения режущих инструментов на тех же операциях и при обработке крепежных и других отверстий.

Таблица 6.3

Типовой маршрут механической обработки станины

№ п/п	Содержание операции	Единичное и мелкосерийное производство			Крупносерийное производство		
		Ср.кл.	Точн.	Прец.	Ср.кл.	Точн.	Прец.
1	Разметка заготовки	1	1	1	–	–	–
2	Обработка основания и плоскостей на передней стенке (черновая)	2	2	2	1	1	1
3	Обработка направляющих и плоскостей на задней стенке (черновая)	3	3	3	2	2	2
4	Обработка торцов черновая	4	9	4	4	7	3
5	Обработка основных отверстий (черновая)	6	4	5	5	3	4
6	Старение	–	5	6	–	4	5
7	Повторная разметка	5	6	7	–	–	–
8	Обработка основания и плоскостей на передней стенке (чистовая)	2	7	8	1	5	6
9	Обработка направляющих и плоскостей на задней стенке (чистовая)	3	8	9	2	6	7
10	Обработка торцов (чистовая)		9	10	4	7	8
11	Повторная разметка	7	10	11	–	–	–
12	Обработка основных отверстий (чистовая)	6	11	12	5	8	9
13	Старение	–	–	10	–	–	10
14	Повторная разметка	–	–	14	–	–	–
15	Обработка основания (отделочная)	–	–	15	–	–	11
16	Повторная разметка	–	12	16	–	–	–
17	Обработка крепежных отверстий (вверху, внизу, спереди, сзади, на торцах)	8, 9, 10, 11, 12	13 – 17	17 – 22	6, 7	9, 10	12– 13
23	Термообработка направляющих	–	18	23	–	11	14
24	Отделка направляющих	–	19	24	–	12	15
25	Отделка основных отверстий	–	20	25	–	13	16

Конструктивные особенности, вес (масса), габаритные размеры, точностные параметры, а также годовой выпуск определяют технологический процесс обработки станины и выполнение отдельных операций.

Станины тяжелых и уникальных станков, изготавливаемых в единичном и мелкосерийном производстве, как правило, начинают обрабатывать с направляющих, что позволяет своевременно выявить литейный брак (рис. 6.20).

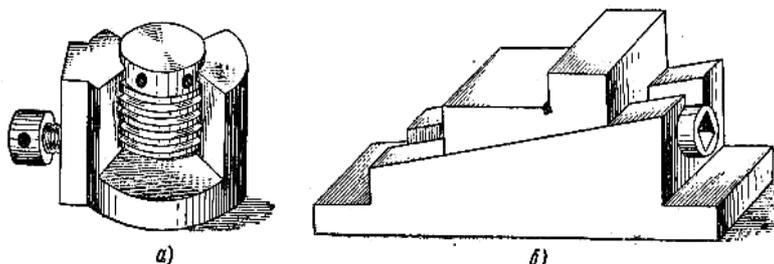


Рис. 6.20. Приспособление для черновой обработки основания и направляющих

Обработку станин токарных, продольно-фрезерных, продольно-строгальных, расточных и других станков средних размеров обычно начинают с основания – базисной поверхности. В этой первой операции заготовку станины устанавливают по черным (необработанным) поверхностям направляющих, которые в данном случае являются технологическими установочными базами. Это позволяет в следующей операции снимать с направляющих слой металла небольшой толщины, обеспечивая сохранение наиболее плотного, однородного и износоустойчивого слоя; металла направляющих, подвергающихся наиболее интенсивному изнашиванию при эксплуатации станка. Установку заготовки станины в первой операции по разметке (рис. 6.21) производят с помощью клиньев или домкратов в вертикальном направлении. В горизонтальном направлении обычно применяют винтовые упоры.

Закрепление заготовки на столе станка в условиях единичного и мелкосерийного производства производят обычными прихватами, количество которых должно быть достаточным для обеспечения неподвижности заготовки под действием усилий резания (рис. 6.22).

В серийном производстве установку заготовки станины в первой операции осуществляют не по разметке, а с помощью специальных приспособлений. Одно из таких приспособлений показано на рис. 6.23, а, б. При увеличении серийности производства применяют приспособления с пневматическими и гидравлическими зажимами.

Выбор метода черновой обработки плоскости основания станины зависит от ее контура, величины припуска и серийности. Обработку основания станины токарных станков можно осуществлять строганием, фрезерованием и обдирочным шлифованием. Обдирочное шлифование сегментными кругами на плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом

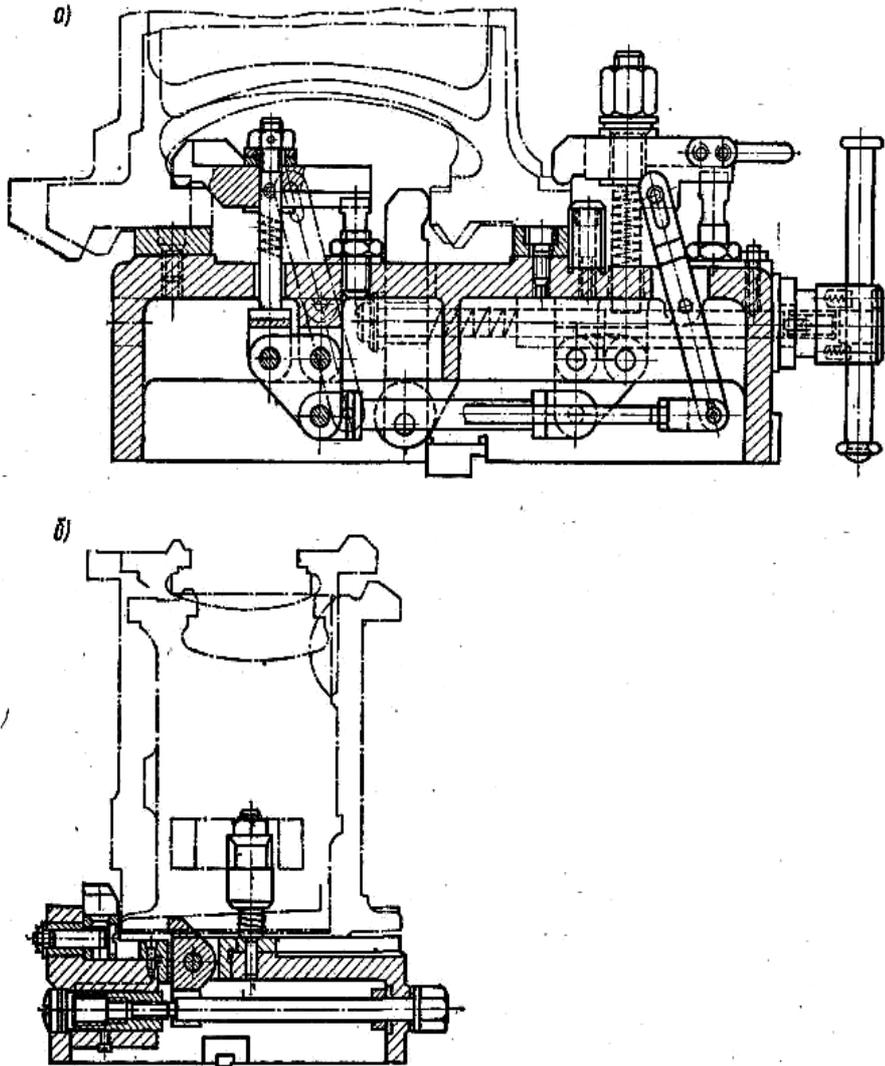


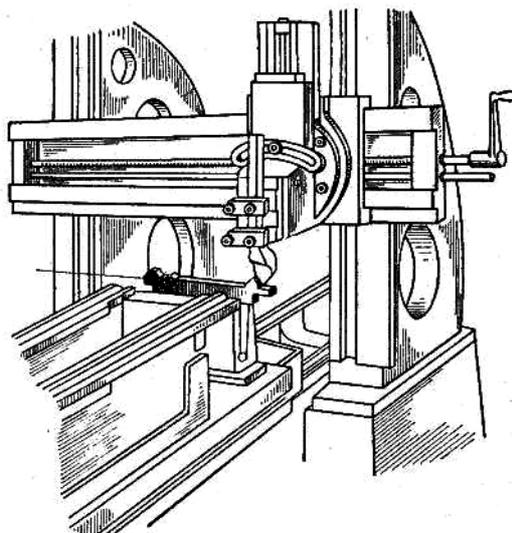
Рис. 6.23. Приспособление для черновой обработки основания и направляющих станины станка

В мелкосерийном производстве, когда установка станины производится по разметочным рискам, а приспособления не применяются, весь профиль направляющих должен быть размечен на торцевой плоскости станины. Черновая обработка производится по этой разметке.

При серийном производстве строгание направляющих производят по «габариту» станины, прикрепляемому к торцу заготовки, что позволяет исключить разметку (рис. 6.24).

Применение «габарита» позволяет сократить вспомогательное время на пробные проходы, измерения, установку резцов. Стругание, особенно чистовое, связано с систематическими измерениями специальными шаблонами. Фрезерование станин в 2 – 3 раза производительнее строгания и ниже по себестоимости, но при крупносерийном производстве.

Рис. 6.24. Применение «габарита» при строгании направляющих станины станка



Фрезерование направляющих на продольно-фрезерном станке можно осуществлять стандартными фрезами за одну установку, но за несколько переходов с многочисленной сменой фрез, на что затрачивается значительное вспомогательное время. На рис. 6.25 показано такое фрезерование за семь переходов. Следовательно, при обработке каждой станины приходится семь раз переставлять фрезы и шпиндели. Можно выполнять эту обработку станины такими же фрезами за семь операций с переустановкой обрабатываемой станины.

Отличие от предыдущей обработки заключается в том, что время на переустановку фрез и шпинделей приходится затрачивать на партию станин, а не на каждую станину и время вспомогательное становится подготовительно-заключительным.

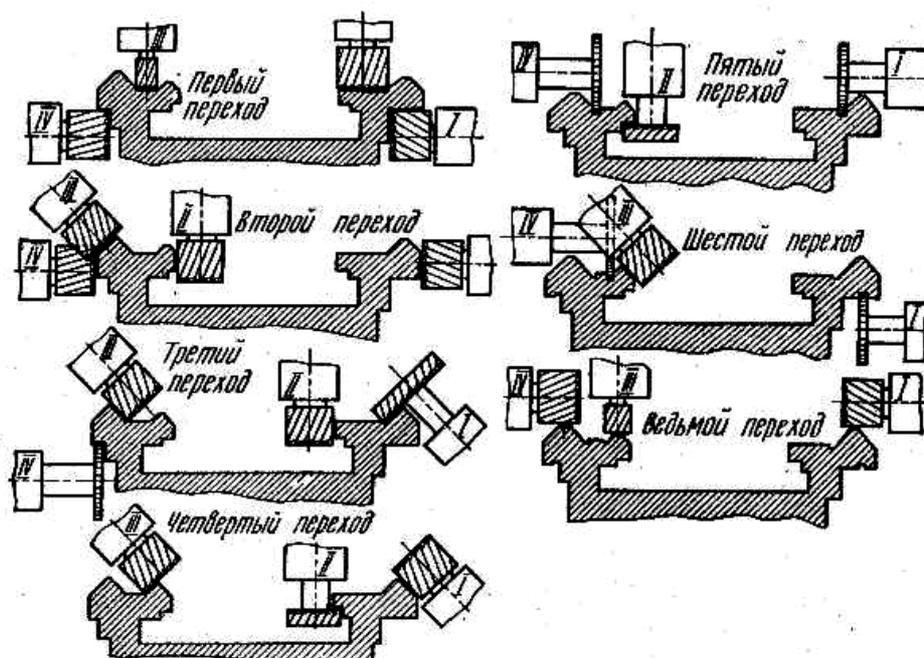


Рис. 6.25. Фрезерование направляющих со сменой фрез

Зато увеличивается вспомогательное время на установку, закрепление и снятие станин, что вместо одного раза приходится делать семь раз. Такой метод фрезерования целесообразен при больших партиях станин.

Фрезерование направляющих можно производить специальным набором фрез (рис. 6.26) на двух- или четырехшпиндельном продольно-фрезерном станке. Обе горизонтальные фрезерные бабки вращают оправку, на которой находится набор фрез в соответствии с профилем направляющих станины. Вспомогательное время затрачивается лишь на установку и закрепление заготовки станины в приспособлении.

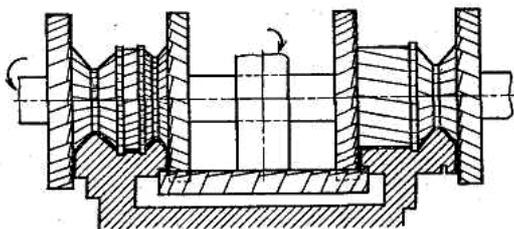


Рис. 6.26. Фрезерование набором фрез

Этот метод достаточно производителен, но имеет существенные недостатки. В наборе фрез четыре фрезы стандартные, а остальные – специальные, что во много раз увеличивает их первоначальную стоимость. Заточка фрез, входящих в набор, гораздо сложнее, а следовательно, и дороже, чем одиночных фрез, т.к. кроме затачивания режущих кромок приходится строго соблюдать требуемые диаметры у всех фрез набора. Если у одной фрезы выкрошилась часть зуба, то при ее заточке приходится снимать значительный слой металла, а из-за необходимости соблюдения размеров диаметров снимать увеличенный слой и у других фрез набора, что удорожает их заточку и сокращает срок их службы.

При крупносерийном производстве целесообразно применять специальные многошпиндельные продольно-фрезерные станки, отличающиеся от универсальных продольно-фрезерных станков тем, что фрезерные бабки расположены по обе стороны стоек и поперечины. На таких станках направляющие станины обрабатываются в основном стандартными фрезами. На рис. 6.27, а, б показана схема фрезерования направляющих станины 19 фрезами, из которых только пять специальных. Такие станки позволяют обработать направляющие станины за одну операцию при достаточно малом вспомогательном времени. Таким способом осуществляется черновое, а затем чистовое фрезерование, при котором создают искусственно изгиб в середине станины специальным приспособлением с натяжным винтом.

Прогиб станины зависит от ее длины и для средних станков принимается 0,1...0,3 мм.

После чистового фрезерования и снятия станины со станка направляющие ее приобретают выпуклость, а после остывания – незначительную выпуклость, благодаря чему станина в процессе эксплуатации станка значительно дольше сохраняет точность в требуемых пределах.

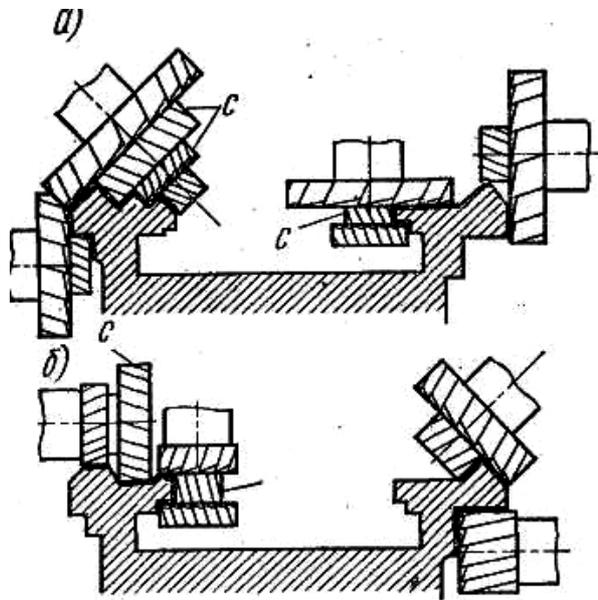


Рис. 6.27. Фрезерование на восьмишпиндельном продольно-фрезерном станке

Торцовые плоскости станин имеют различное назначение: для сопряженных узлов они являются привалочными плоскостями; у вертикальных станин они играют роль основания; у длинных станин, состоящих из нескольких секций, они служат для соединения смежных секций. Во всех случаях они должны быть перпендикулярны верхним привалочным плоскостям или направляющим, поэтому по этим поверхностям и надо базировать станину при обработке торцовых поверхностей. Если базировать по основанию, то погрешность требуемой перпендикулярности увеличится на величину погрешности параллельности верхних плоскостей основанию.

Возможны следующие способы обработки: строгание на продольно-строгальном станке двумя боковыми суппортами; фрезерование на продольно-фрезерном станке двумя боковыми фрезерными бабками. Выбор одного из этих способов производится на основе таких же расчетов, какие были указаны при рассмотрении способов обработки основания. Оба эти способа весьма производительны и гарантируют высокую точность, вследствие совмещенной обработки обоих торцов без переустановки станины. Однако, если обрабатываемая станина имеет большую длину, приходится назначать эту обработку на станках со столом большой ширины – уни-

кальных и очень дорогих, поэтому такая обработка экономична только для коротких станин.

Фрезерование на горизонтально-расточном станке. Большинство станков этого вида имеет поворотный стол с точной индексацией. Это позволяет обрабатывать оба торца последовательно и достаточно точно, используя поворот стола на 180° . Однако и этот способ связан с применением дорогостоящих крупных станков. Например, торцы станины длиной 3000 мм пришлось бы обрабатывать на горизонтально-расточном станке мод. 2654, используемом лишь в тяжелом машиностроении. Само по себе использование горизонтально-расточного станка не по назначению, для грубой фрезерной обработки, приводит к усиленному его износу и потере точности.

Возможно фрезерование на торцефрезерном станке. У станков этого вида мощная фрезерная головка имеет движение подачи по собственным направляющим, а обрабатываемую деталь устанавливают на неподвижную плиту. Станок прост, стоимость его невелика. У торцефрезерного станка мод. ГВ-499 имеется три шпинделя: на одном шпинделе установлена торцовая фреза большого диаметра (до 1000 мм), служащая для чистовой обработки; на двух других шпинделях установлены две фрезы малого диаметра для черновой обработки. Благодаря такому устройству станка торец обрабатывают за один проход окончательно при высокопроизводительном режиме резания. Существенный недостаток этого способа – необходимость переустановки обрабатываемой станины для обработки второго торца. Этот недостаток может быть устранен, если применить поворотный стол большого размера с точной индексацией.

В серийном производстве для комплексной обработки плоскостей, основных и вспомогательных отверстий используют фрезерно-расточные станки с ЧПУ и обрабатывающие центры, позволяющие провести обработку деталей с четырех сторон с одной установки.

В серийном производстве для комплексной обработки плоскостей, основных и вспомогательных отверстий используют фрезерно-расточные станки с ЧПУ и обрабатывающие центры, позволяющие провести обработку деталей с четырех сторон с одной установки.

Затем следует обработка крепежных и других отверстий, обычно на радиально-сверлильном станке.

Обработка отверстий в станине с четырех сторон осуществляется с помощью поворотного приспособления (рис. 6.28), состоящего из двух бабок (передней и задней), установленных на общей раме. Передняя бабка имеет делительный механизм для поворота станины.

Поворот осуществляется электрическим, пневматическим или гидравлическим устройством. Задняя бабка перемещается на раме и устанавлива-

ется в зависимости от длины обрабатываемой станины. Как указывалось выше, обработка отверстий в индивидуальном и мелкосерийном производстве производится по разметке, а в крупносерийном – по кондукторам.

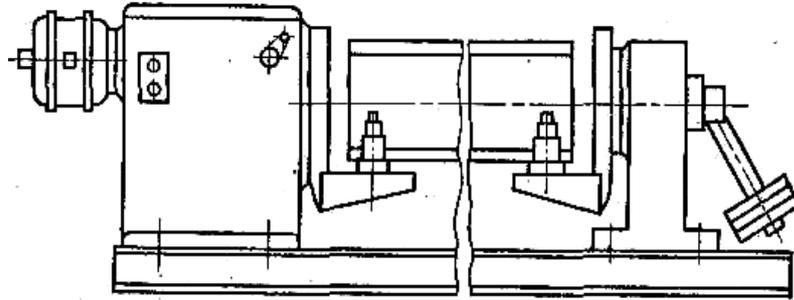


Рис. 6.28. Приспособление поворотное

Кондукторы для сверления отверстий, связанных размерами с обработанными плоскостями станины, базируются по этим плоскостям.

Для сверления отверстий, не связанных с какой-либо обработанной поверхностью станины, например, отверстия для крепления крышек, сверлятся с помощью накладных кондукторов, устанавливаемых по контуру.

Большинство отверстий в станинах имеют резьбу, поэтому после сверления снимают или откидывают кондукторы, зенкуют или сразу нарезают резьбу в отверстиях. Обрабатывают отверстия с одной стороны станины, затем, повернув ее на 90° , приступают к обработке отверстий с другой стороны и т.д.

После обработки отверстий направляющие станины подвергаются закалке (особенно в серийном и крупносерийном производстве), которая повышает их износостойкость.

Поверхностная закалка направляющих станин осуществляется путем нагрева их ацетилено-кислородным пламенем или токами высокой частоты (ТВЧ).

При газопламенной поверхностной закалке глубина закаленного слоя составляет 3...5 мм. Твердость его достигает HRC 52...54.

В результате закалки ТВЧ твердость поверхностного слоя повышается до HRC 45...52 при глубине до 2,5 мм.

Отделочная обработка направляющих производится в основном тремя методами: тонким строганием, шабрением и шлифованием. Выбор способа отделки направляющих зависит от размеров станины, требований в отношении их точности и класса шероховатости, а также вида производства.

Тонкое строгание осуществляется на продольно-строгальных станках широкими резцами (рис. 6.29), имеющими режущее лезвие от 20 до

100 мм. Режущая кромка резца должна быть установлена строго параллельно поверхности детали. Даже незначительный перекоп вызывает шероховатости на обработанной поверхности. Припуск под тонкое строгание обычно оставляется около 1 мм и снимается за 2...3 прохода. Глубина резания при последнем проходе 0,03...0,07 мм, подача равна примерно половине длины режущей кромки резца, а скорость резания 15...20 м/мин для быстрорежущих резцов и 40...60 м/мин для твердосплавных, шероховатость поверхности примерно 6 – 7 классов.

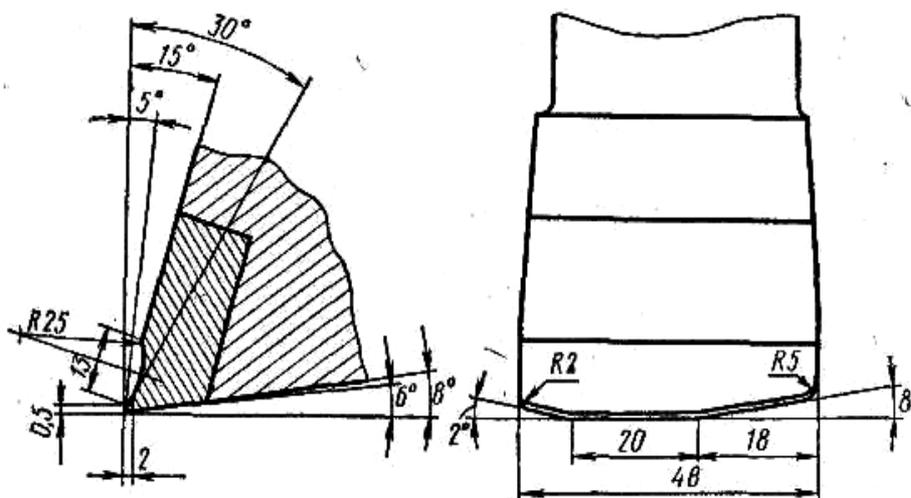


Рис. 6.29. Широкий резец чистового строгания станины

Шабрение направляющих станин в настоящее время применяется исключительно в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Этим методом получают высокую точность на прямолинейность и параллельность плоскостей (0,002 мм на длине 1000 мм).

Шабрение плоскостей обычно производится вручную при помощи инструмента, называемого шабером.

Механическое шабрение производится посредством специальных станков, осуществляющих возвратно-поступательное движение шабера. Распространения такие станки не получили ввиду отсутствия значительных преимуществ по сравнению с ручным шабрением. При шабрении применяют специальные шабровочные линейки и шабровочные плиты. Процесс шабрения требует больших физических усилий и высокой квалификации рабочего, весьма трудоемок и удлиняет цикл производства, поэтому все больше вытесняется более производительным и совершенным шлифованием, обеспечивающим высокую точность и шероховатость поверхности. Этот способ отделочной обработки направляющих станин наи-

более распространен, особенно в серийном и крупносерийном производстве. Трудоемкость обработки направляющих шлифованием в 4 – 5 раз меньше, чем отделка их шабрением.

В мелкосерийном производстве эффективность применения шлифования зависит от размера детали и партии. При обработке малых поверхностей и особенно малой партии эффективность замены шабрения шлифованием снижается ввиду значительного времени на переналадку.

Шлифование направляющих поверхностей станин производится на специальных плоскошлифовальных станках с подвижным столом или с подвижной колонной. Шлифовальные поворотные бабки снабжаются чашечными шлифовальными кругами 1, 2, 3, 4, 5 (рис. 6.30).

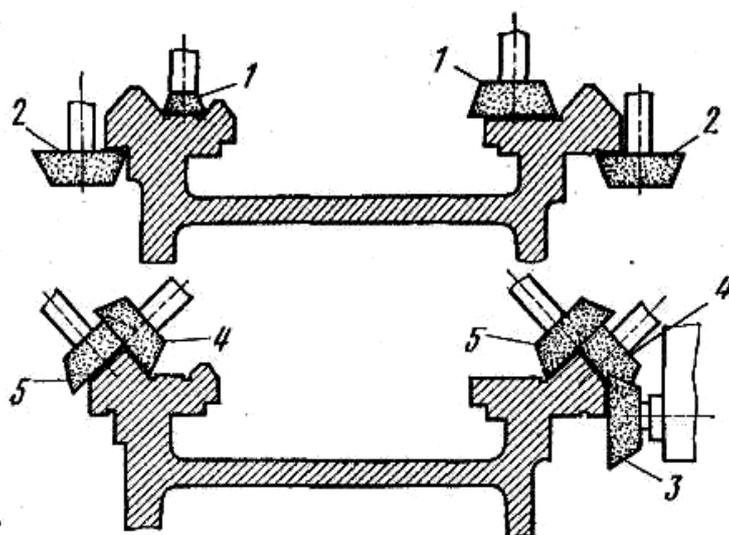


Рис. 6.30. Шлифование чашечными кругами

Существует два способа установки оси шлифовального круга относительно шлифованной плоскости. По первому способу ось круга устанавливается перпендикулярно обрабатываемой плоскости. Поверхность при этом получается чистая, но производительность снижается, т.к. работа всей поверхностью торца чашечного круга увеличивает нагрев и заставляет снижать режимы резания. При установке круга под углом $3...5^\circ$ работает только одна сторона круга, производительность увеличивается, но шероховатость поверхности ухудшается. Практически шлифование происходит с установкой оси круга под углом $3...5^\circ$, а после получения требуемого размера несколько проходов делают кругом, установленным перпендикулярно шлифуемой поверхности, для получения зеркальной поверхности.

Шлифование направляющих станин производят также периферией специально профилированных цилиндрических кругов (рис. 6.31).

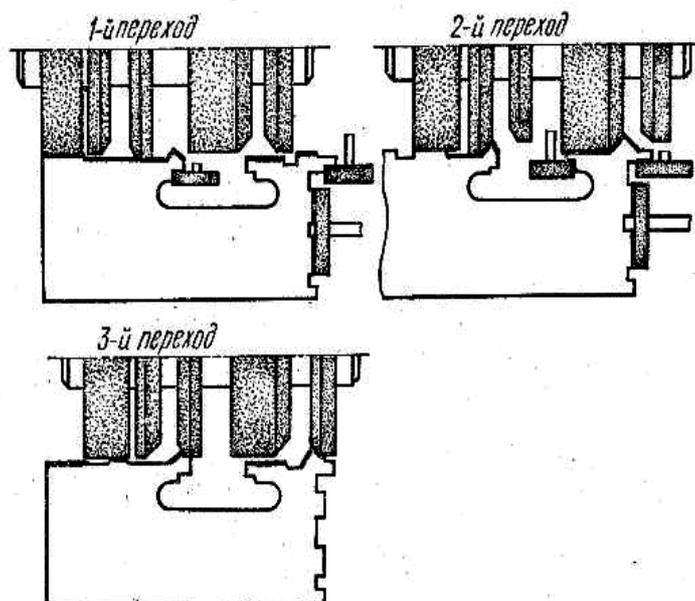


Рис. 6.31. Шлифование периферией круга

Этот метод шлифования производительнее торцового на 30...40%. Шероховатость поверхностей после шлифования соответствует 7 – 8 классам с погрешностью по прямолинейности 0,01 – 0,02 мм на 1000 мм длины.

Контроль станин при шлифовании осуществляется специальными шаблонами, как при строгании. Окончательной отделочной операцией является притирка направляющих для станин повышенной точности. На направляющие, предварительно смазанные пастой ГОИ (Государственный оптический институт), накладывается сопрягаемая деталь или специальная контрольная плита соответствующего профиля, которым придается возвратно-поступательное движение по направляющим станины. Длительность притирки может продолжаться несколько часов. Это зависит от качества обработки направляющих и размеров станины.

Плоскостность привалочных плоскостей контролируют параболической контрольной линейкой (рис. 6.32) обычно «на краску». Если требуется определить величину погрешности, то проверка «на краску» исключается, и линейку устанавливают на концевые меры 1 одинаковой высоты, располагаемые в точках наименьшего прогиба линейки. В правильно сконструированных линейках точки наименьшего прогиба находятся против ножек 2. Затем измеряют в нескольких точках расстояния h от проверяемой плоскости до линейки с помощью концевых мер, клинообразной масштабной линейки или индикатора на низкой стойке. Наибольшая разность измеренных величин h и есть искомая погрешность. Такой способ контроля хорош для горизонтально расположенных привалочных плоскостей, но крайне неудобен для вертикальных, т.к. необходимо переустанавливать станину.

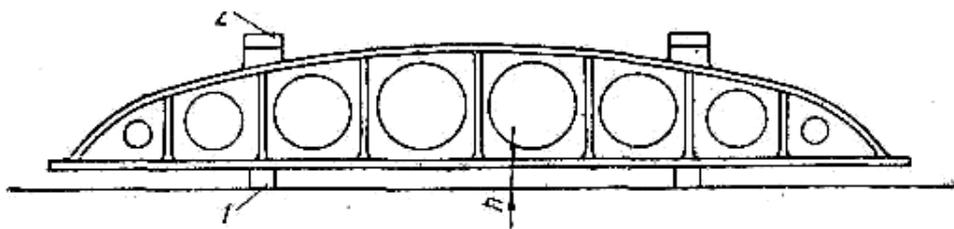


Рис. 6.32. Контрольная линейка

При контроле линейками надо учитывать, что они прогибаются под действием собственного веса на заметную величину, даже если опоры расположены в точках наименьшего прогиба. Например, линейка длиной 2000 мм прогибается на 10...15 мкм. Как известно, прогиб от собственного веса пропорционален расстоянию между опорами, взятому в 4-й степени. Для точных измерений не следует применять линейки свыше 2000 мм длиной, и, если длина проверяемой плоскости превышает 2000 мм, надо контролировать плоскостность оптическим методом.

Параллельность близко расположенных приалочных плоскостей проверяют индикатором на стойке. Стойку устанавливают на плоскость, принятую за базу, а измерительный штифт индикатора приводят в соприкосновение с проверяемой плоскостью. Стойку передвигают в разных направлениях и отмечают показания индикатора. Отыскав точки, в которых разность показаний δ имеет наибольшую величину, измеряют расстояние между ними L . Отношение $\frac{\delta}{L}$ является мерой искомой погрешности.

Если плоскости, параллельность которых надо проверить, расположены далеко одна от другой, контроль производят уровнем. Для этого прежде всего устанавливают станину на три клина; располагают уровень на плоскости, принятой за базу, и, подбивая клинья, добиваются ее горизонтальности. Затем переносят уровень на проверяемую плоскость. Смещение пузырька по шкале уровня дает непосредственно искомую погрешность. Очевидно, что если проверяемые плоскости расположены на вертикальной стенке станины, то ее надо установить в соответствующее положение.

Для контроля параллельности далеко расположенных плоскостей возможен также оптический метод контроля. Используя его, освобождаются от необходимости выверять станину на горизонтальность посредством клиньев. Однако при оптическом методе необходима выверка положения оптического прибора. Обе указанные выверки требуют довольно много времени.

Перпендикулярность привалочных плоскостей. Простая проверка угольником на практике обычно не удается, т.к. мешает какая-либо выступающая часть станины или же проверяемые плоскости слишком удалены одна от другой, поэтому приходится прибегать к контролю посредством рамочного уровня. При этом необходимо, как и при контроле параллельности, сначала установить станину на трех клиньях так, чтобы базовая плоскость была горизонтальна. Затем рамочный уровень переносят на проверяемую плоскость (рис. 6.33). Смещение пузырька покажет искомую погрешность.

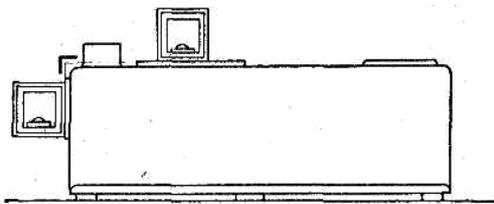


Рис. 6.33. Контроль перпендикулярности

Твердость направляющих контролируют переносными приборами. Незакаленные направляющие по методу Бринелля приборами типа ТБП, а закаленные по методу Роквелла приборами типа ТРП. Прямолинейность направляющих проверяют контрольной линейкой (см. выше), уровнем, струной или автоколлиматором. При контроле уровнем с ценой деления 0,02/1000 мм его сначала располагают вдоль направляющих на одном конце станины и, подбивая два клина, размещенные по длине станины, добиваются нулевого положения пузырька. Затем уровень располагают перпендикулярно направляющим и снова приводят пузырек в нулевое положение, подбивая третий клин. Достигнув таким образом горизонтальности начального участка направляющих, периодически перемещают уровень через 500 мм и отмечают показания пузырька в двух положениях уровня, вдоль направляющих и перпендикулярно им. Показания при продольном положении уровня свидетельствуют о непрямолинейности, а показания при перпендикулярном положении уровня характеризуют извернутость направляющих. Если проверяемые направляющие призматические, то для установки уровня необходим мостик; сидящий на проверяемых направляющих.

Уровнем можно проверить только отклонения прямолинейности в вертикальной плоскости.

Для проверки отклонений прямолинейности направляющих струной в горизонтальной плоскости (в плане) натягивают вдоль проверяемой плоскости проволоку диаметром 0,2 – 0,3 мм. Натяжение проволоки про-

изводят при помощи двух струбцинок, расположенных на концах станины. Положение туго натянутой проволоки регулируют так, чтобы расстояние от нее до проверяемой плоскости было одинаковым на обоих концах станины, после этого измеряют это расстояние в разных точках по длине направляющих (через каждые 500 мм). Так как туго натянутая проволока в горизонтальной плоскости является эталоном прямой линии, то колебания измеренных расстояний свидетельствуют об отклонении направляющих от прямолинейности. Измерить расстояние от проволоки до проверяемой плоскости можно двумя способами: а) концевыми мерами (плитками); этот способ требует большой чувствительности руки контролера, так как проволока пружинит при введении плитки между нею и плоскостью; б) микроскопом с перекрестием и шкалой в окулярной части (микроскоп должен быть закреплен в вертикальном положении на мостике, скользящем по проверяемым плоскостям направляющих); этот способ точнее предыдущего, но требует затрат на изготовление мостика.

Сочетание контроля уровнем и струной дает полную характеристику отклонений от прямолинейности направляющих, но требует значительных затрат времени контролера.

Для контроля прямолинейности направляющих оптическим методом необходим автоколлиматор с двумя перекрестиями (рис. 6.34); одно перекрестие с взаимно перпендикулярными шкалами находится в фокальной плоскости окуляра, а другое, без шкалы, проецируется параллельным пучком света на зеркало, и его отражение попадает также в фокальную плоскость окуляра. Таким образом, глаз видит два совмещенных перекрестия (рис. 6.35).

Автоколлиматор прочно закрепляют на одном конце станины, а на другом конце ставят на проверяемые направляющие мостик с зеркалом. Сам автоколлиматор желательно тоже закреплять на мостике для сокращения времени на выверку его положения относительно зеркала: необходимо, чтобы оптическая ось автоколлиматора была перпендикулярна зеркалу и проходила внутри его площади. После закрепления автоколлиматора с мостиком на станине, отрегулируют его положение так, чтобы оба перекрестия совместились в поле зрения окуляра, затем передвигают мостик с зеркалом по направляющим через 500 мм и записывают смещение отраженного перекрестия по обеим шкалам. Измеренные смещения характеризуют отклонения прямолинейности направляющих. Таким образом, оптический метод контроля позволяет регистрировать отклонения прямолинейности направляющих в двух плоскостях, что неосуществимо при других методах контроля. Основной недостаток оптического метода – необходимость изготовления мостиков по профилю проверяемых направляющих.

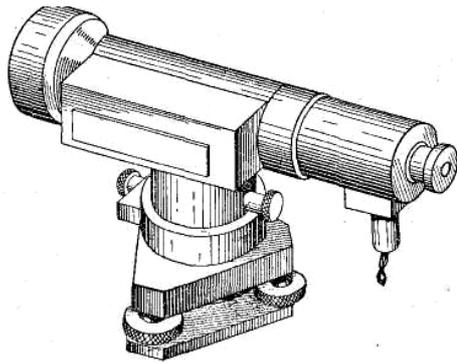


Рис. 6.34. Автоколлиматор

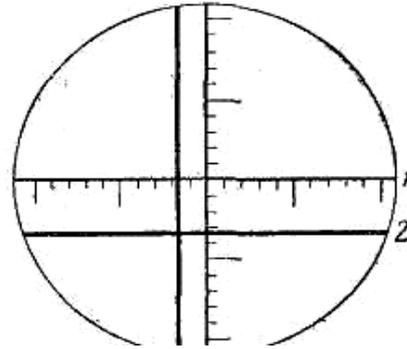


Рис. 6.35. Совмещение перекрестий

Параллельность отдельных плоскостей направляющих, контроль в большинстве случаев может быть выполнен универсальными измерителями – микрометром или индикатором на стойке. Исключение составляют направляющие, в профиле которых имеются призмы, например, направляющие токарного станка. Как правило, призмы таких направляющих являются базовыми, а остальные плоскости должны быть им параллельны. В подобных случаях необходим мостик, скользящий по базовым призмам. На мостике закреплены в нужном количестве индикаторы, измерительные штифты которых касаются проверяемых плоскостей. Таким образом, одним прибором (мостиком с индикаторами) может быть проверена параллельность призм всех плоскостей направляющих.

6.3. Обработка корпусных деталей

Корпусные детали обеспечивают в конструкции заданное положение деталей узлов и механизмов.

По служебному назначению и конструктивным формам корпусные детали можно разделить на следующие группы:

- корпусные детали коробчатого типа. Имеют отверстия – опоры для валов. Могут быть разъемными и неразъемными по осям отверстий. (корпусы редукторов);
- корпусные детали с развитыми внутренними цилиндрическими поверхностями (блоки цилиндров, цилиндры двигателей и компрессоров);
- детали сложной пространственной формы (корпуса центробежных насосов, паровых и газовых турбин);
- каретки, салазки, столы, ползуны, хоботы, планшайбы – в процессе эксплуатации совершают прямолинейное или вращательное движение;
- кронштейны, угольники, стойки;
- плиты, крышки, кожухи, поддоны, корыта.

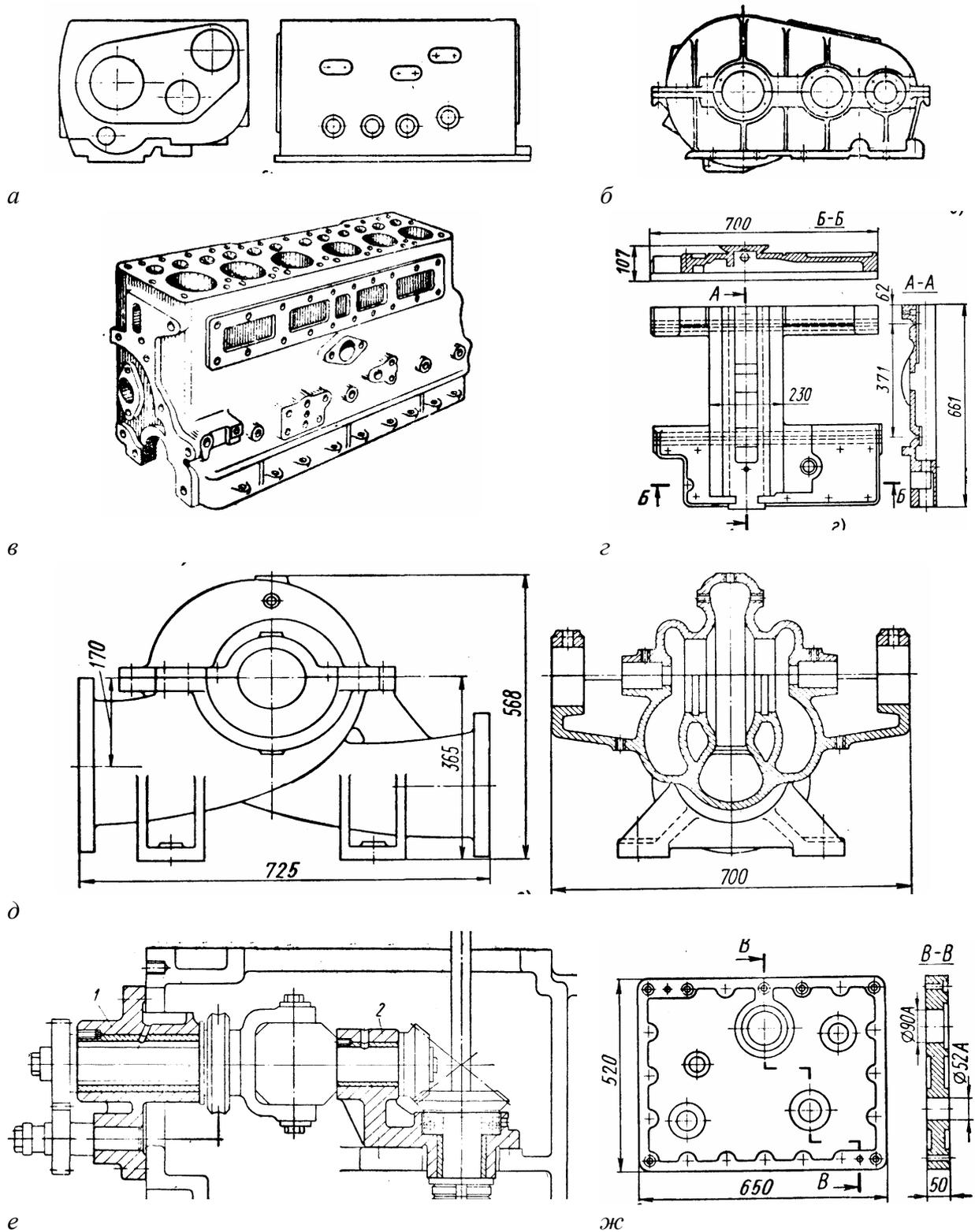


Рис. 6.36. Корпусные детали:
a – коробка скоростей токарного станка; *б* – корпус редуктора в сборе; *в* – блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания; *г* – каретка суппорта; *д* – корпус центробежного насоса; *е* – кронштейны; *ж* – плита

Обрабатываемыми поверхностями в корпусных деталях являются плоскости, основные отверстия и отверстия вспомогательные (крепежные). Диаметры основных отверстий в корпусных деталях выполняются преимущественно по 7-ому, реже по 6, 8 квалитету. Погрешность формы отверстия не должна превышать $1/2 \dots 2/3$ допуска на диаметр. Допуски на межцентровые расстояния определяются требованиями к точности зубчатых передач (для редукторов горного оборудования – 8 степень точности). Допуски на непараллельность осей отверстий – в пределах допусков на межцентровые расстояния. Отклонение от соосности – в пределах половины допуска на диаметр меньшего отверстия.

Неперпендикулярность торцев к осям отверстий 0,01...0,1:100.

Непрямолинейность плоскостей 0,05...0,2:100. Чистота отверстий под подшипники $Ra\ 2,5 - 0,63$; торцев $Ra\ 5 - 2,5$; плоскостей разъемов корпусов $Ra\ 2,5 - 1,25$.

Заготовки для корпусных деталей получают в виде чугунных, стальных отливок и цветного литья, реже – в виде сварных конструкций.

Для ответственных отливок сложной конфигурации в качестве материала применяется СЧ24, СЧ28, для редукторов горного оборудования Ст 35Л, для корпусов, работающих в агрессивных средах, – цветное литье.

Технологический маршрут механической обработки представлен в табл. 6.4.

Разметка производится на контрольной плите с помощью штангенциркуля (штангенрейсмуса, штангенциркуля), синусной линейки, концевых мер длины. Разметка позволяет получить более правильное расположение обработанных и необработанных поверхностей, более рациональное распределение припусков на обработку.

Проанализировав чертеж детали и состояние заготовки, выбирают исходную поверхность, от которой наносят главную горизонтальную ось. От главной горизонтальной оси наносят остальные оси, риски, определяющие горизонтальные контуры детали и ограничивающие контуры отверстий. Повернув деталь в вертикальной плоскости на 90^0 , в том же порядке производят вертикальную разметку. Затем наносятся наклонные риски и контуры отверстий.

В качестве технологических баз при обработке корпусных деталей стремятся использовать основные конструкторские базы. От принципа постоянства баз часто приходится отказываться в целях сокращения технологических размерных цепей.

Первыми следует обрабатывать поверхности, имеющие большую площадь или требующие более точной обработки. Это позволит перераспределением припусков избежать брака по чернотам, раковинам и металлургическим включениям.

Таблица 6.4

Технологический маршрут механической обработки корпусных деталей

Производство единичное	Производство серийное	Примечание
Оп. 05. Слесарная. Разметить плоскости и основные отверстия	Оп. 05. Вертикально-фрезерная.	
Оп. 10. Фрезерная. Фрезеровать плоскости начерно	Оп. 06. Продольно-фрезерная.	
Оп. 15. Слесарная. Разметить основные отверстия	Фрезеровать плоскости начерно	
Оп. 20. Расточная. Расточить основные отверстия начерно	Оп. 10. Горизонтально-расточная. Расточить основные отверстия начерно	
Оп. 21. Термическая. Отжиг повторный	Оп. 11. Термическая. Отжиг повторный	Для чугунного литья высокой сложности
Оп. 25. Слесарная. Разметить плоскости и основные отверстия повторно	Оп. 15. Вертикально-фрезерная. Оп. 16. Продольно-фрезерная.	
Оп. 30. Фрезерная. Фрезеровать плоскости начисто	Фрезеровать плоскости начисто	
Оп. 31. Шлифовальная. Шлифовать плоскости	Оп. 17. Плоскошлифовальная. Шлифовать плоскости	При необходимости
Оп. 35. Расточная. Расточить основные отверстия начисто	Оп. 20. Горизонтально-расточная Расточить основные отверстия начисто	
Оп. 36. Расточная. Отделочная обработка основных отверстий	Оп. 21. Горизонтально-расточная. Оп. 22. Алмазно-расточная. Отделочная обработка основных отверстий	При необходимости
Оп. 40. Слесарная. Разметить крепежные отверстия	Оп. 25. Радиально-сверлильная.	
Оп. 45. Сверлильная. Сверлить, зенковать, нарезать (развернуть) крепежные отверстия	Оп. 26. Вертикально-сверлильная Сверлить, зенковать, нарезать (развернуть) крепежные отверстия	
Оп. 50. Контрольная. Контроль окончательный по всем параметрам чертежа	Оп. 53. Контрольная. Контроль окончательный по всем параметрам чертежа	

Для обработки наружных плоскостей корпусных деталей применяют строгание, фрезерование, точение, шлифование и протягивание.

В единичном и мелкосерийном производстве при обработке крупногабаритных деталей широко используют строгание. Достоинство метода: простота и дешевизна инструмента и наладки, малая его чувствительность к литейным порокам и возможность снимать за один проход большие припуски (до 20 мм).

Производительность строгания низкая из-за наличия холостых ходов и относительно низких скоростей резания

Более производителен при обработке плоскостей корпусных деталей метод фрезерования. В единичном и мелкосерийном производстве для обработки небольших деталей используют вертикально-фрезерные консольные станки, для обработки крупногабаритных деталей – вертикально-фрезерные бесконсольные. В серийном производстве – вертикально-фрезерные и продольно-фрезерные, в массовом и крупносерийном – карусельно-фрезерные и агрегатные станки.

Точением обрабатывают плоскости на токарно-карусельных и горизонтально-расточных станках, совмещая обработку плоскостей с обработкой основных отверстий.

Шлифование используют для отделочной обработки плоскостей. Используются плоскошлифовальные и продольно-шлифовальные станки.

Протягиванием на вертикально-протяжных станках для наружного протягивания выполняют чистовую и отделочную обработку плоскостей в массовом производстве.

В серийном производстве для комплексной обработки плоскостей, основных и вспомогательных отверстий используют фрезерно-расточные станки с ЧПУ и обрабатывающие центры, позволяющие провести обработку деталей с четырех сторон с одной установки (рис. 6.37, 6.38, 6.39, 6.40).

При обработке на продольно-фрезерных станках применяют групповую обработку деталей и одновременную обработку несколькими инструментами, что повышает производительность (рис. 6.41).

Обработка основных отверстий делится на черновую, чистовую и отделочную. Черновая и чистовая выполняется на горизонтально-расточных, вертикально-сверлильных (мелкие детали), радиально-сверлильных и токарно-карусельных станках. Для отделочной в единичном и серийном производстве используют координатно-расточные станки, в крупносерийном и массовом – хонинговальные и алмазно-расточные станки.

Рис. 6.37. Вертикально-фрезерный бесконсольный станок мод. 6А54:

1 – станина; 2 – салазки; 3 – стол;
4 – подвесная кнопочная станция;
5 – шпиндельная бабка; 6 – стойка;
7 – коробка подач

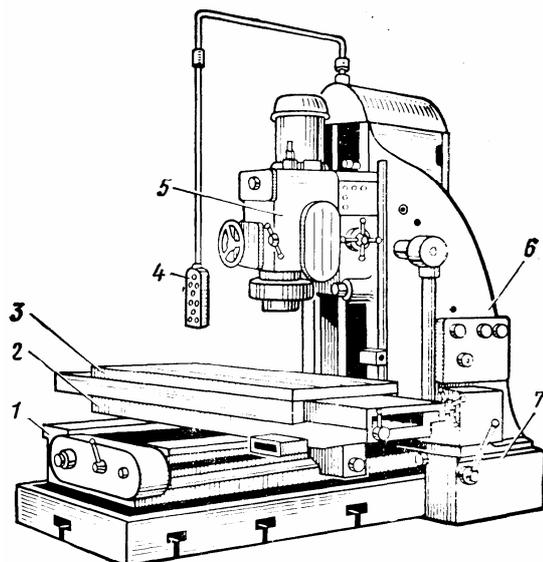


Рис. 6.38. Продольно-фрезерный станок мод. 6610:

1 – станина; 2 – стол; 3, 6, 9,
11 – фрезерные головки; 4, 10 – стойки;
5 – траверса; 7 – балка; 8 – подвесная кнопочная станция

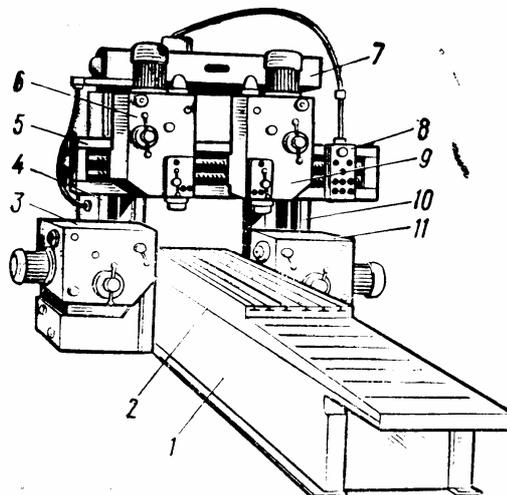
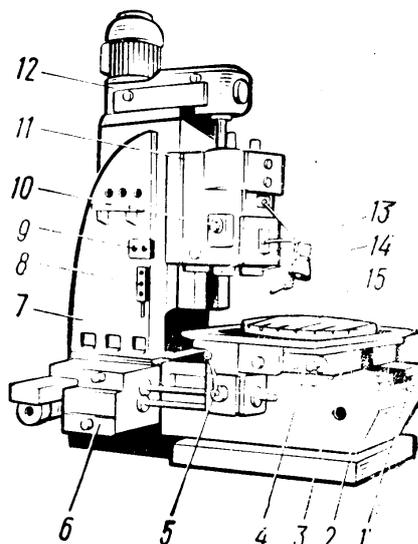


Рис. 6.39. Карусельно-фрезерный станок мод. 621М:

1, 4, 5, 9, 10 – рукоятки управления;
2 – станина; 3 – салазки; 6 – коробка подач;
7 – стойка; 8 – кнопочная станция; 11 – шпиндельная бабка; 12 – 14 – шпиндельные узлы; 15 – стол



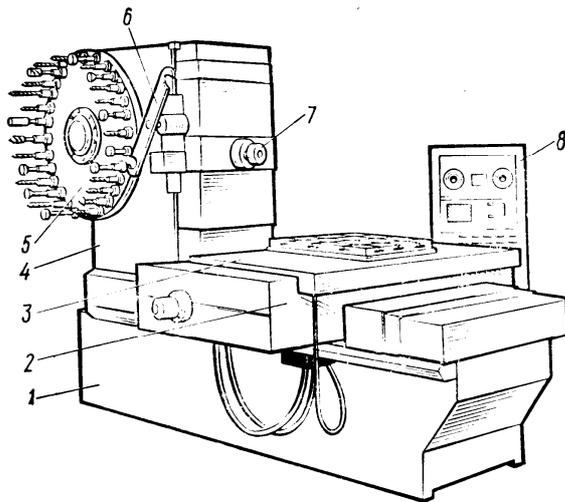


Рис. 6.40. Горизонтальный фрезерно-сверлильно-расточной станок мод. 6906ВМФ2:

1 – станина; 2 – салазки; 3 – стол; 4 – стойка; 5 – инструментальный магазин; 6 – автооператор; 7 – шпиндельная бабка; 8 – пульт управления

Горизонтально-расточные станки предназначены для обработки крупных корпусных деталей в условиях единичного и серийного производства.

Обрабатываемую деталь закрепляют на столе станка или на плите. На станке осуществляется вращение шпинделя при выполнении всех основных видов работ и вращение планшайбы при обтачивании плоскостей радиальным суппортом. Продольная подача может быть реализована продольным перемещением шпинделя или перемещением стола, поперечная – поперечным перемещением стола, вертикальная – вертикальным перемещением шпиндельной бабки.

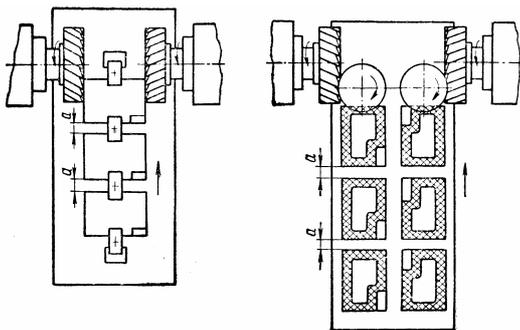


Рис. 6.41. Групповая обработка

Основные типы горизонтально-расточных станков общего назначения делят на три группы: *A*, *B* и *B* (рис. 6.42).

Станки типа *A* выпускают без задней (рис. 6.42, *a*) и с задней стойкой 7 (рис. 6.42, *б*). Станки без задней стойки имеют меньшую длину станины 4. Станки типа *A* имеют неподвижную переднюю стойку 1, прикрепленную к станине 4. По вертикальным направляющим стойки 1 перемещается шпиндельная бабка 2, в которую вмонтирован выдвижной

шпиндель 6. Поворотный стол 5 станка имеет продольное и поперечное перемещения. Задняя стойка 7 с люнетом предназначена для поддержания свободного конца борштанги. Станки типа *A* изготавливают как с радиальным суппортом 3, расположенным на наружной поверхности планшайбы, так и без него. Эти станки, предназначены для обработки корпусных деталей, имеющих точные отверстия, связанные между собой точными координатами.

Станки типа *B* (рис. 6.42, *в*) отличаются от станков типа *A* тем, что имеют продольно-подвижную переднюю стойку и стол, перемещающийся в направлении, перпендикулярном оси шпинделя. Задняя стойка также продольно-подвижная и снабжена люнетом для поддержания борштанги.

Станки типа *B* (рис.6.42, *г*) предназначены для черновой и чистовой обработки крупных и тяжелых деталей машин. На фундаменте установлены станина станка и плита. Плита предназначена для установки и закрепления обрабатываемой детали и установки задней стойки с люнетом. Продольная подача реализуется шпинделем станка, поперечная – передней стойкой, вертикальная – шпиндельной бабкой.

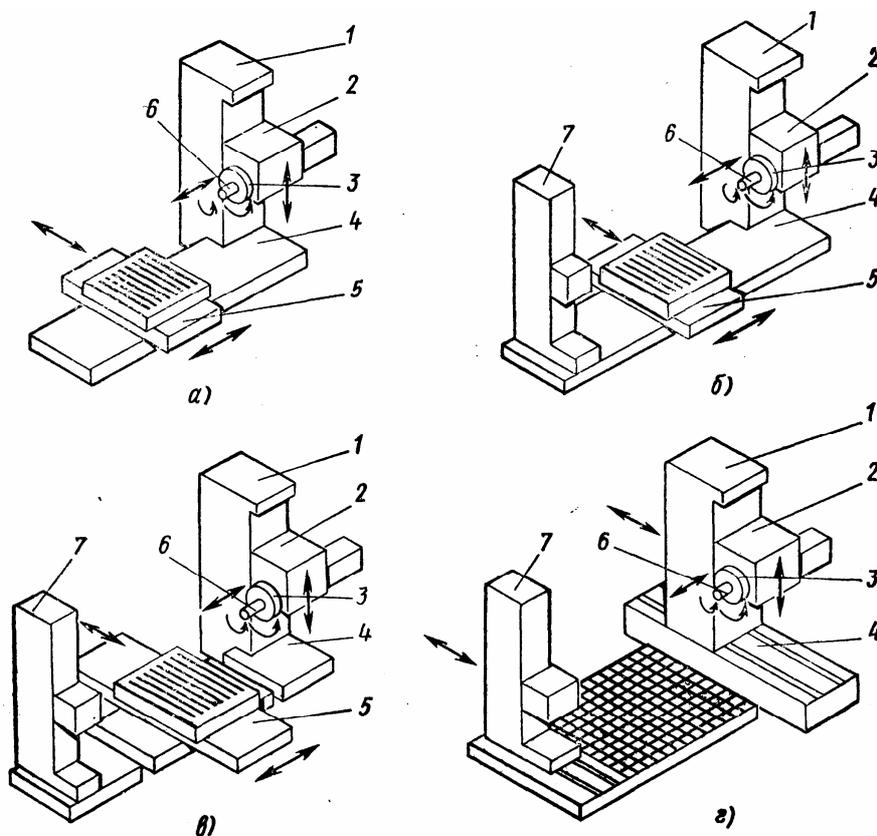


Рис. 6.42 . Основные компоновки горизонтально-расточных станков

Основной характеристикой *горизонтально-расточного станка* является диаметр шпинделя: для станков группы *A* – 80, 90 и 110 мм; для станков группы *B* – 150 и 220 мм, а для станков группы *B* – до 320 мм (рис. 6.43).

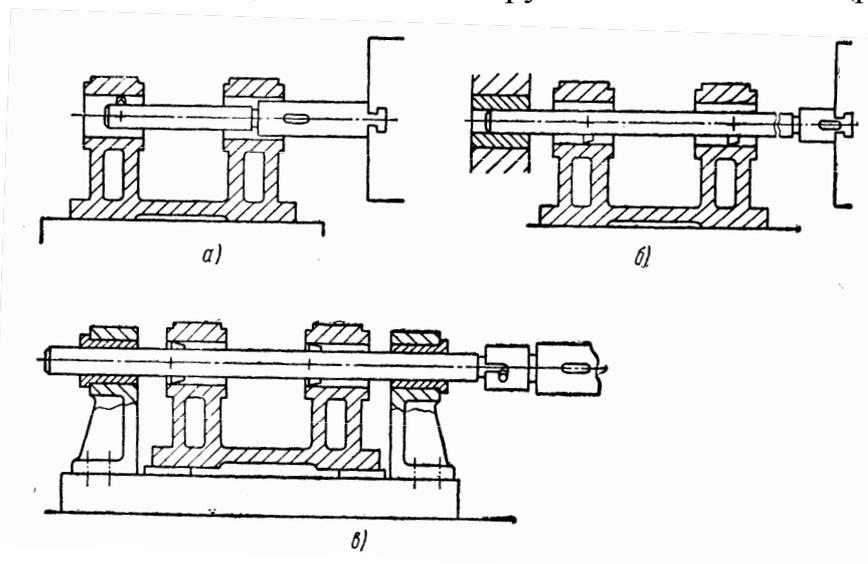


Рис. 6.43 Основные способы растачивания на горизонтально-расточных станках

Станки группы *A* предназначены для обработки сравнительно небольших деталей, станки группы *B* – для средних (диаметр расточки до 800 мм), а станки группы *B* – для особо тяжелых и громоздких деталей (диаметр расточки до 2,5 м, вертикальный ход шпиндельной бабки до 1 м). Рабочая поверхность поворотных столов имеет размеры от 800×900 до 1600×1800 мм. Класс точности станков – *H* и выше.

Расточка отверстий на горизонтально-расточных станках может выполняться тремя способами:

- консольной оправкой;
- борштангой с использованием опоры задней стойки;
- с двухсторонним направлением борштанги в кондукторе при шарнирном соединении борштанги со шпинделем станка.

При схеме (рис. 6.42, *a*) можно использовать более высокие скорости резания.

Консольными оправками растачивают при общем вылете инструмента (длина оправки от торца шпинделя плюс длина выступающей части шпинделя от торца планшайбы), равном $(5 - 6) d$, где d – диаметр оправки. Оправки должны быть короткими и жесткими. При растачивании консольной оправкой с подачей шпинделем вылет инструмента непрерывно увеличивается, что приводит к увеличению отжата инструмента и вызывает появление погрешностей формы и размера растачиваемого отверстия.

Способ пригоден для растачивания коротких отверстий при использовании жестких оправок и незначительном общем вылете инструмента.

При растачивании консольной оправкой с подачей столом вылет инструмента не меняется, при этом погрешности растачивания будут значительно меньше.

Для уменьшения погрешностей от упругих деформаций при растачивании следует применять резцы с углом в плане $\phi = 90^\circ$. При большой длине отверстия, если вылет инструмента более $5d$ (где d – диаметр отверстия), растачивание под зенкерование необходимо проводить за два прохода, оставляя на второй проход малый припуск для исправления непрямолинейности оси отверстия.

Следует заменять растачивание одним резцом растачиванием многолезвийным инструментом. Перед использованием многолезвийных инструментов для обработки отверстий, имеющих необработанные торцы, на входе и выходе нужно снять фаски, чтобы удалить литейную корку. Растачивание борштангами с использованием опоры задней стойки (б) применяют при обработке крупных тяжелых деталей, имеющих отверстия в противоположных стенках, или при обработке отверстий, имеющих длину, значительно превышающую их диаметр. В этом случае опора задней стойки и шпиндель должны быть сосны (рис. 6.44).

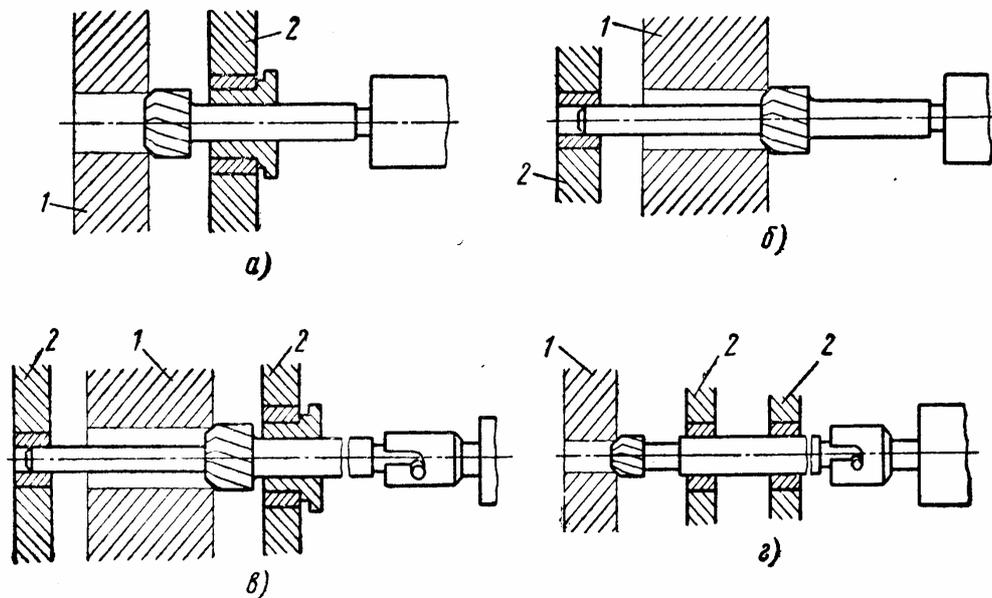


Рис. 6.44. Направляющие элементы расточных кондукторов:
а – переднее направление; *б* – заднее направление; *в* – переднее и заднее направления; *г* – двойное переднее направление;
 1 – обрабатываемая деталь; 2 – кондуктор

После установки детали в обрабатываемые отверстия вводят борштангу; ее устанавливают в опоре задней стойки и соединяют со шпинделем. Затем выверяют правильность положения борштанги в вертикальной и горизонтальной плоскостях, устанавливают инструменты и производят растачивание. Этот способ обработки по сравнению с консольным растачиванием представляет некоторые трудности, связанные со значительным увеличением вспомогательного и машинного времени.

В серийном производстве широко используют растачивание в специальных приспособлениях – кондукторах. Кондукторы могут иметь одностороннее переднее или заднее направление для инструмента или оправки, переднее и заднее направления или двойное переднее направление (рис. 6.45, 6.46). Приспособления, имеющие двойное направление инструмента, обеспечивают надежное положение инструмента, поэтому инструмент или оправку соединяют со шпинделем шарнирно. Применение приспособлений упрощает выполнение операций, снижает требования к квалификации рабочего, повышает производительность труда, но требует значительных первоначальных затрат. Поэтому в мелкосерийном производстве применяют различные приспособления упрощенного типа (накладные кондукторы, накладные шаблоны).

Точность расположения осей отверстий при расточке координатным методом $\pm 0,02$ (использование прецизионных расточных станков или индикаторных устройств). Точность, получаемая с применением кондукторов или шаблонов, – $\pm 0,5$; $\pm 0,10$ мм.

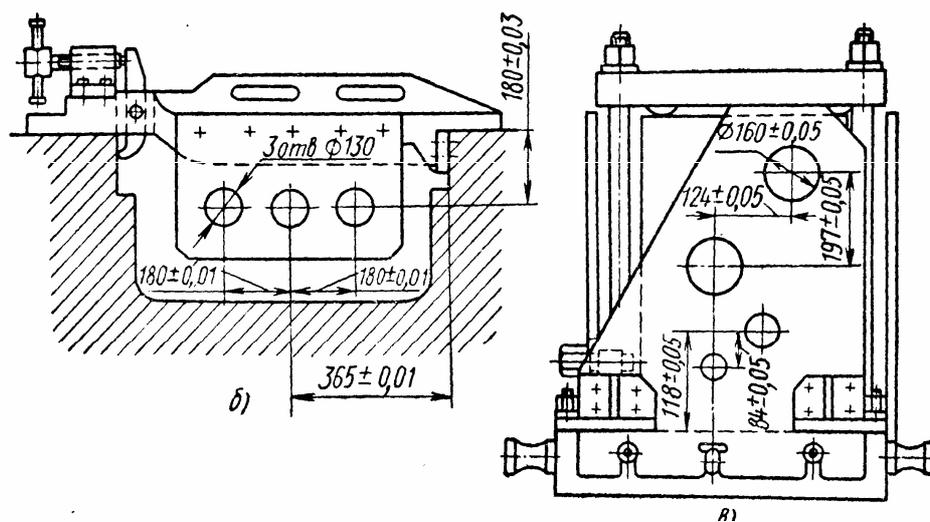


Рис. 6.45. Накладные шаблоны и установка их с базированием:
а – на деталь; б – на основание приспособления

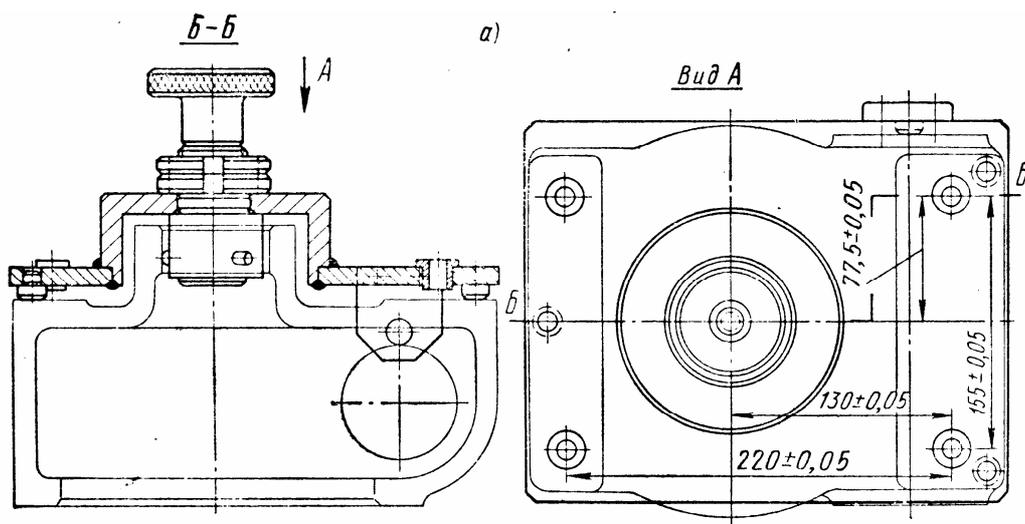


Рис. 6.46. Накладной кондуктор

Крепежные и другие второстепенные отверстия в единичном и мелкосерийном производстве выполняются по разметке. Отверстия под штифты сверлятся с припуском под развертку, разворачиваются в сборе в обеих сопрягаемых деталях одновременно после выверки и фиксации их в рабочем положении.

В серийном производстве при небольших габаритах и весе обрабатываемых деталей (до 30 кг с кондуктором) отверстия сверлятся, зенкуются и развертываются на вертикально-сверлильных станках с применением кантующихся кондукторов. Цековка, зенковка и нарезание резьбы выполняются на простейших подставках для базирования обрабатываемой детали без направления режущего инструмента.

Более тяжелые детали средних габаритов обрабатываются на радиально-сверлильных станках. В качестве приспособлений используются одноопорные и двухопорные нормализованные поворотные стойки со специальными наладками (рис. 6.47). Кондукторные плиты наладок делаются откидными для выполнения зенкования и нарезания резьбы без переустановки детали. Крепежные отверстия в крупногабаритных деталях обрабатываются на радиально-сверлильных и горизонтально-расточных станках с направлением инструмента по накладным кондукторам.

В крупносерийном и массовом производстве для обработки корпусных деталей используют агрегатные станки и автоматические линии. Здесь в технологическом процессе более жестко соблюдается принцип постоянства баз. Основной технологической базой при обработке корпусных деталей является развитая плоскость в комплекте с двумя отверстиями. Отвер-

ствия выполняются по 7 качеству, если этого не требует чертеж - обработка вводится для создания дополнительной технологической базы. Как правило, обработка основных технологических баз выполняется на агрегатных станках вне автоматической линии (рис. 6.48).

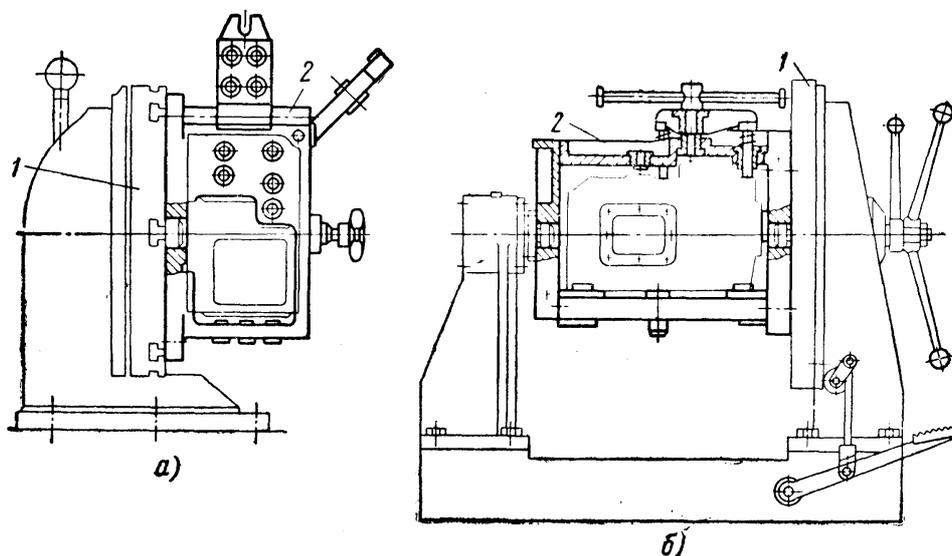


Рис. 6.47. Поворотные кондукторы с нормализованными стойками

При отсутствии вышеописанной базовой поверхности (детали сложной пространственной формы) деталь базируется по внешней необработанной поверхности в приспособление-спутник. В процессе обработки приспособление с обрабатываемой деталью проходит по рабочим позициям автоматической линии. Порядок обработки на автоматической линии тот же: обработка плоскостей, обработка основных отверстий, обработка крепежных и других второстепенных отверстий. При наличии плоскостей большой площади после черновой обработки плоскостей вводится сверление крепежных отверстий для устранения влияния температурных деформаций на точность обработки.

Главными контролируруемыми параметрами корпусных деталей являются размеры основных отверстий, их координаты, правильность формы и расположения.

Выбор методов и средств контроля определяются типом производства. В единичном и серийном производстве используется универсальный мерительный инструмент, в крупносерийном и массовом – предельные и комплексные калибры и специальные контрольные приспособления. Для контроля точности относительного положения отверстий используют контрольные оправки. Рабочая поверхность оправки выполняется по 5 квали-

тету, чистота поверхности 8...10 класса. При контроле небольших отверстий (диаметром до 50 мм) оправки устанавливают непосредственно в отверстия, а при больших диаметрах отверстий – через контрольные втулки (рис. 6.49, *а*). Наружная поверхность втулки имеет отклонения, соответствующие посадкам $h5 - i5$. Длина сопряжения оправки с втулкой должна быть не менее $(1,5 - 2)d$ (диаметр оправки).

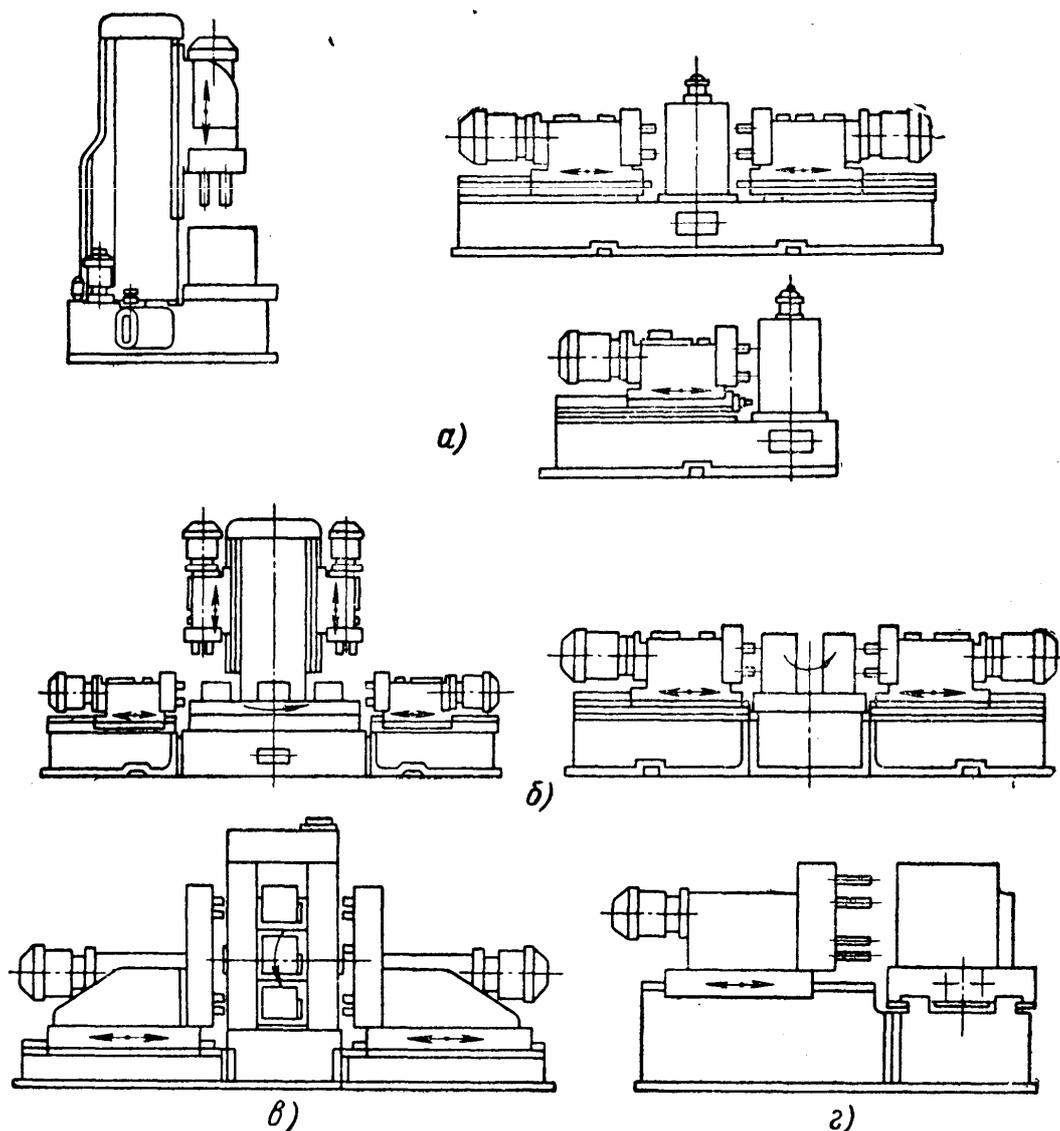


Рис. 6.48. Типовые компоновки агрегатных станков

Соосность отверстий проверяют контрольными оправками (рис. 6.49, *а*) или индикаторными приспособлениями (рис. 6.49, *б*). Схемы проверки параллельности осей, межосевого расстояния, неперпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия, проверки положения осей отверстий в одной плоскости представлены на рис. 6.50 – 6.54.

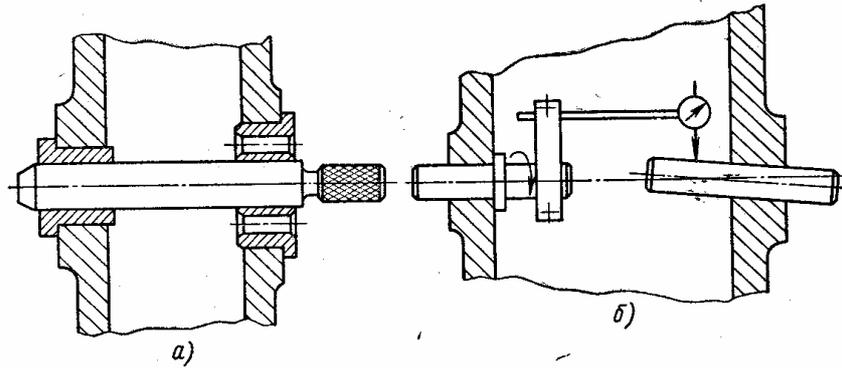


Рис. 6.49. Проверка соосности отверстий

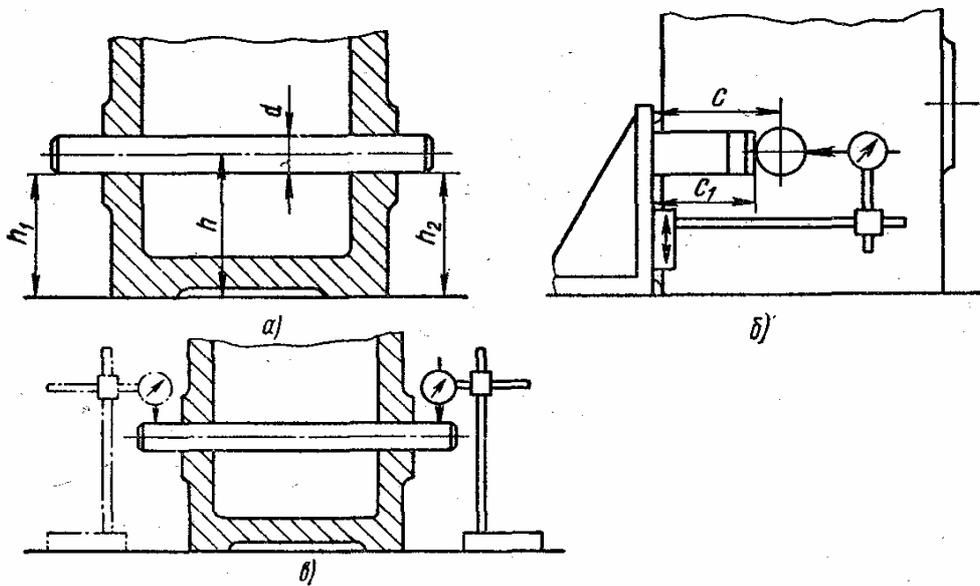


Рис. 6.50. Проверка параллельности оси отверстия к базовой плоскости и расстояния от оси отверстия до плоскости

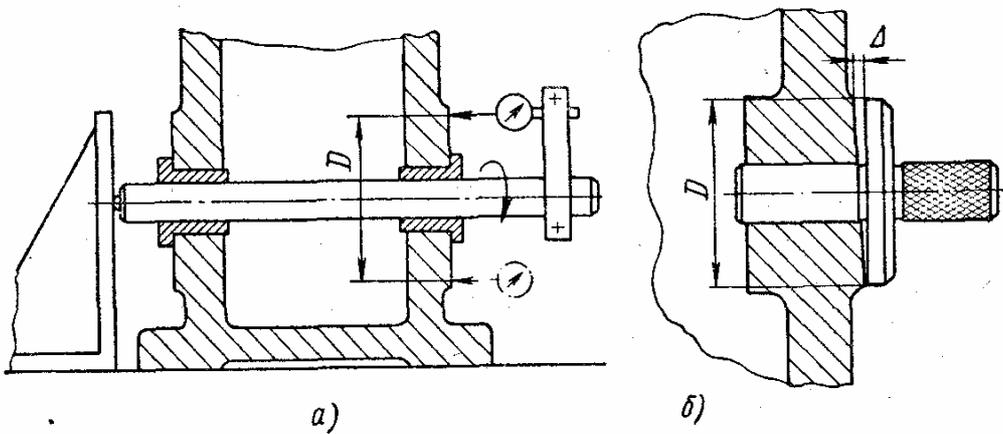


Рис. 6.51. Схема проверки неперпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия

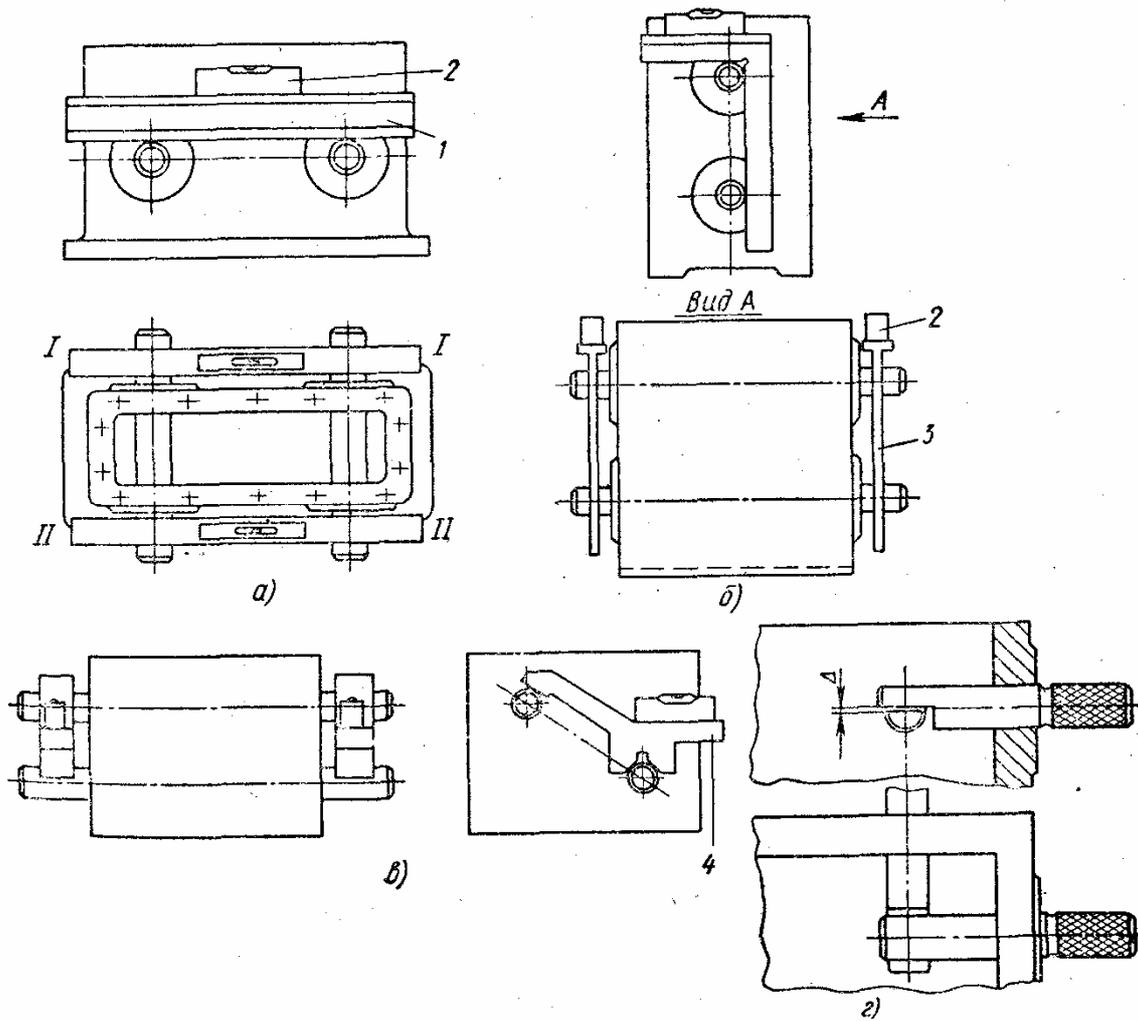


Рис. 6.52. Схема проверки положения осей отверстий в одной плоскости:
 1 – линейка; 2 – уровень; 3 – угольник; 4 – специальное приспособление

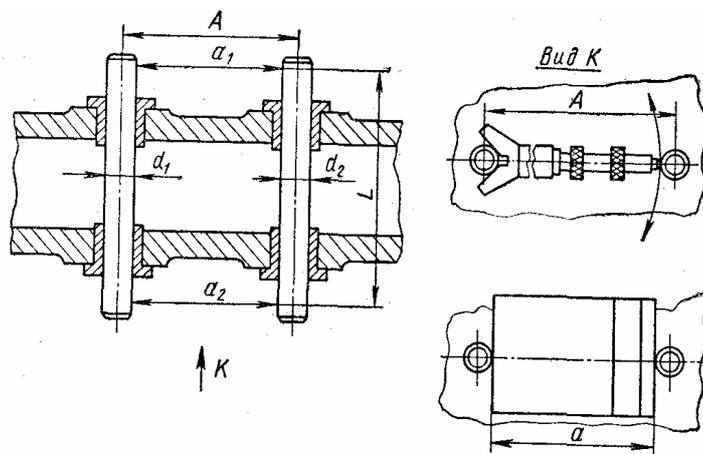


Рис. 6.53. Определение межосевого расстояния и параллельности осей

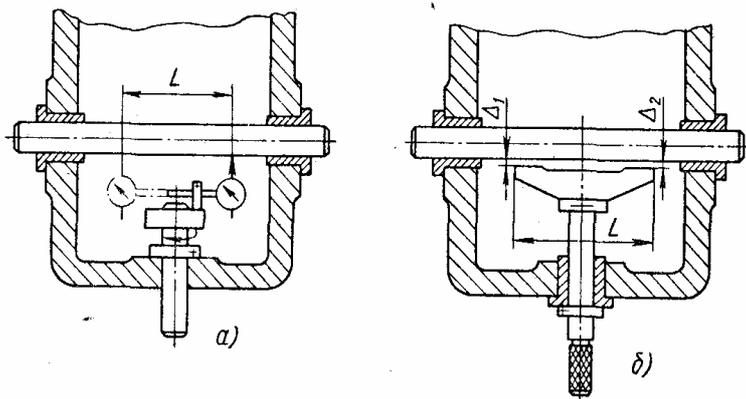
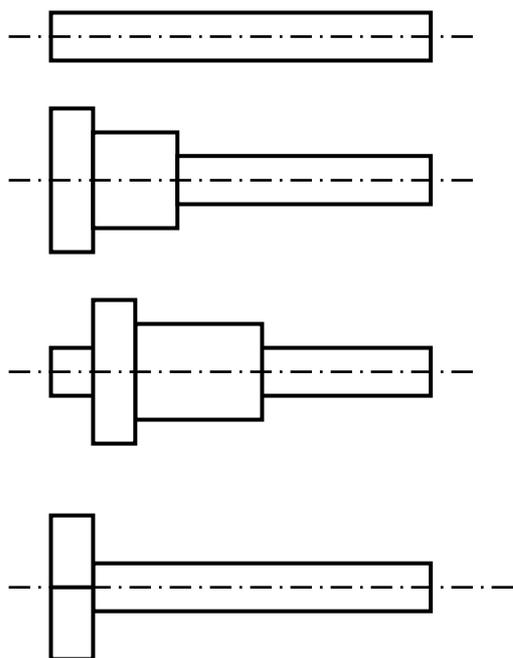


Рис. 6.54. Проверка неперпендикулярности осей отверстий

6.4. Изготовление валов

К основным конструктивным разновидностям валов относятся гладкие валы, ступенчатые односторонние и двухсторонние, фланцевые односторонние и двухсторонние (рис. 6.55). Кроме основных формообразующих поверхностей – наружных поверхностей вращения, валы могут иметь



6.55. Основные разновидности валов

шлицы, шпоночные канавки, резьбы и отверстия различной формы и расположения.

Валы диаметром более 2000 мм и весом более 1 т выделяют в группу тяжелых валов, т.к. такие габариты и вес оказывают существенное влияние на построение технологического процесса, выбор оборудования и методов обработки.

Гладкие, ступенчатые и тяжелые валы могут быть пустотелыми со сквозным центральным отверстием. Различают валы жесткие и нежесткие, требующие особых способов и приемов обработки. Жесткие имеют отношение длины к диаметру $l/d \leq 12$, нежесткие – $l/d \geq 12$.

По длине валы подразделяют на размерные группы, определяющие выбор оборудования для обработки: 1 – до 150 мм; 2 – 150...500 мм; 3 – 500...1200; 4 – более 1200.

Основным материалом для изготовления валов является углеродистая и легированная конструкционная сталь, обладающая высокой прочностью, хорошей обрабатываемостью, малой чувствительностью к концентрации напряжений.

Для неотчетственных малонагруженных валов: Ст 5, Ст 6, Сталь15, А12, А35;

средненагруженных: Сталь 45, 50, 40Х;

крупных валов: 50Г2;

для валов, работающих в тяжелых условиях: 20Х, 20ХГ, 18ХГТ, 12ХН3А, 20Х2Н4А

для валов, работающих в агрессивных средах и при повышенных температурах (до 1000°С) – 2Х13, 1Х18Н9, Х23Н18.

Для гладких валов в качестве заготовки применяют калиброванный прокат, для ступенчатых валов в единичном и серийном производстве – сортовой прокат или поковки, в крупносерийном и массовом – штамповки и поковки на горизонтально-ковочной машине. Заготовки для тяжелых валов получают свободной ковкой на ковочных прессах или тяжелых молотах.

Основные конструкторские базы валов – посадочные шейки выполняются по 6...7 качеству, реже – по 5 качеству, овальность и конусность шеек – в пределах допуска на диаметр, биение шеек – 0,01...0,02 мм, допуски на длину ступеней – 0,05...0,20 мм, чистота посадочных шеек – Ra 0,63...0,08.

Для тяжелых точных валов овальность и конусность шеек – 0,02...0,04 при диаметре 800...1000; торцевое биение фланцев – 0,02...0,04 на радиусе до 800 мм; искривление оси вала – не более 0,005...0,01:1000; допуски на длину шеек 0,05...0,2; шероховатость шеек, галтелей, центрирующих буртиков и поясков – Ra 0,63...0,08.

Основными технологическими базами при обработке ступенчатых и тяжелых валов являются центровые отверстия. Если центровых отверстий нет в чертеже – технолог вводит их в чертеж в соответствии с ГОСТ 14034-74 (рис. 6.56).

Форма *A* – для «сырых» валов, форма *B* – для термообрабатываемых. Если в чертеже сказано: «центровые отверстия не допускаются» – длину заготовки увеличивают на $2a$, обрабатывают вал в центрах, концы вала обрезают и зачищают.

Гладкие валы в крупносерийном и массовом производстве могут обрабатываться без центровых отверстий с использованием для шлифования бесцентрово-шлифовальных станков.

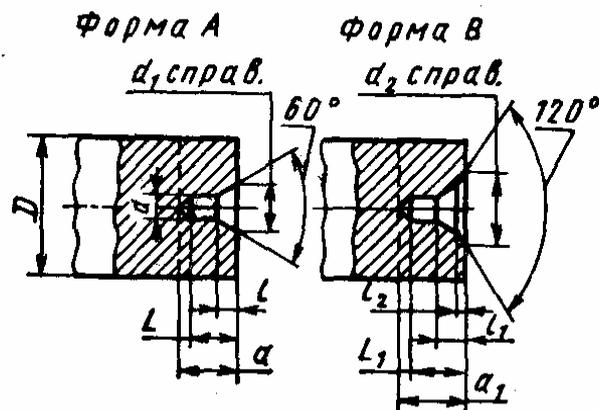


Рис. 6.56. Основные формы центровых отверстий

Типовой технологический маршрут обработки гладких валов представлен в табл. 6.5.

Схема бесцентрового шлифования представлена на рис. 6.57.

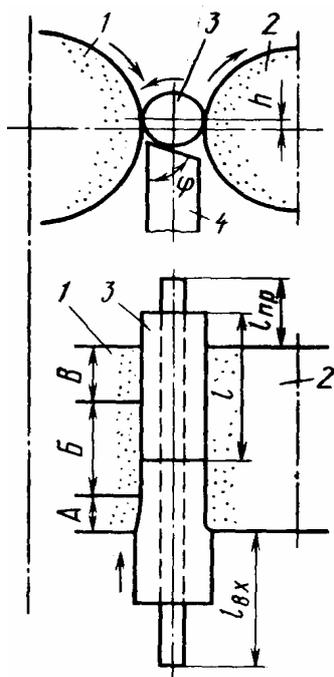


Рис. 6.57. Схема и рабочий цикл бесцентрового шлифования с продольной подачей:

1 – режущий круг; 2 – ведущий круг; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – опорный нож;

l_{ex} – передняя (направляющая) часть опорного ножа; l – длина обрабатываемой детали; l_{np} – задняя (приемная) часть опорного ножа

Типовой технологический маршрут обработки односторонних ступенчатых валов представлен в табл. 6.6.

Маршрут обработки двухстороннего ступенчатого вала – аналогичен.

Схема установки заготовки в патроне и неподвижном люнете с выверкой, наладка фрезерно-центровального станка, наладка токарно-много-резцовых полуавтоматов для полной токарной обработки ступенчатого двухстороннего валика представлены на рис. 6.58 – 6.60.

Таблица 6.5

Технологический маршрут обработки гладких валов

Производство единичное	Пр-во серийное	Пр-во массовое	Примечание
Оп. 05 Токарная Установить деталь; подрезать торец; снять фаску; зацентровать; переустановить деталь; подрезать торец; снять фаску; зацентровать; переустановить деталь; проточить до патрона; переустановить деталь; проточить с припуском под шлифовку	Оп. 05 Бесцентрово-шлифовальная Шлифовать начерно		Отрезка заготовки, подрезка торца и снятие фаски в серийном и массовом производстве в заготовительном отделе
Оп. 10 Фрезерная	Оп. 10 Верт.-фрезерная Оп. 11 Горизонт.-фрезерная	Оп. 10 Шпоночно фрезерная Оп. 11 Горизонт.-фрезерная	Оп. 10 – паз под призматическую шпонку Оп. 11 – паз под сегментную шпонку
Фрезеровать шпоночные пазы (при наличии)			
Оп. 15 Сверлильная Оп. 15 Верт.-сверлильная		Оп 15 Агрегатная	
Сверлить поперечные и продольные эксцентричные отверстия; нарезать резьбу (при наличии)			
Оп. 20 Термическая			
Оп. 25 Шлифовальная Шлифовать начисто	Оп. Бесцентро-шлифовальная Шлифовать начисто		
Оп. 30 Контрольная			

Таблица 6.6

Технологический маршрут обработки односторонних ступенчатых валов

Пр-во единичное	Пр-во серийное	Пр-во массовое	Примечание
Оп. 05 Токарная Установить деталь; подрезать торец, снять фаску; зацентровать; переустановить деталь; подрезать торец; снять фаску; зацентровать; переустановить деталь; обточить большую ступень; переустановить деталь; обточить начерно по контуру	Оп. 05 Фрезерно-центровальная Подрезать торцы; зацентровать	Оп. 05 Барабанно-фрезерная Подрезать торцы	
		Оп. 10 Центровальная Зацентровать	
	Оп. 10 Токарная с ЧПУ Обточить начерно большую ступень	Оп. 15 Токарно-многолезцовая Обточить начерно большую ступень	

Продолжение табл. 6.6

	Оп. 15 Токарная с ЧПУ. Обточить начерно по контуру	Оп. 20 Токарно-многолезцовая Обточить начерно по контуру.	
Оп. 10 Термообработка	Оп. 20 Термообработка	Оп. 25 Термообработка	Улучшение
Оп. 15 Токарная Обточить по контуру начисто; нарезать резьбу	Оп. 25 Токарная с ЧПУ Обточить по контуру начисто	Оп. 30 Токарно-гидрокопировальная Обточить по контуру начисто	
Оп. 20 Фрезерная	Оп. 30 Вертикально-фрезерная Оп. 31 Горизонтально-фрезерная	Оп. 35 Шпоночно-фрезерная Оп. 36 Горизонтально-фрезерная	Оп. 30 – паз под призматическую шпонку Оп. 31 – паз под сегментную шпонку
Фрезеровать шпоночные пазы (при наличии)			
Оп. 25 Фрезерная	Оп. 35 Шлицефрезерная	Оп. 40 Шлицефрезерная	
Фрезеровать шлицы (при наличии)			
	Оп. 40 Резьбофрезерная Оп. 45 Резьбофрезерная Фрезеровать резьбу		
Оп. 30 Сверлильная	Оп. 45 Вертикально-сверлильная	Оп. 50 Агрегатная	
Сверлить поперечные и продольные эксцентричные отверстия; нарезать резьбу (при наличии)			
Оп. 35 Контрольная	Оп. 50 Контрольная	Оп. 55 Контрольная	
Проверить размеры, чистоту поверхностей и соответствие техническим условиям			
Оп. 40 Слесарная	Оп. 55 Гальваническая	Оп. 60 Гальваническая	

Резьбу от цементации предохранить			
Оп. 45 Термообработка	Оп. 60 Термообра- ботка	Оп. 65 Термообра- ботка	Цементация
Оп. 50 Термообработка	Оп. 65 Термообра- ботка	Оп. 70 Термообра- ботка	Закалка
Оп. 55 Сверлильная	Оп. 70 Вертикально- сверлильная	Оп. 75 Центрошли- фовальная	
Исправить центра			
Оп. 60 Шлифовальная	Оп. 75 Кругло- шлифоваль- ная	Оп. 80 Кругло- шлифоваль- ная	
Шлифовать с припуском под чистовое шлифование			
Оп. 65 Шлифовальная	Оп. 80 Кругло- шлифоваль- ная	Оп. 85 Кругло- шлифоваль- ная	
Шлифовать окончательно			
Оп. 70 Шлифовальная	Оп. 85 Шлице- шлифоваль- ная	Оп. 90 Шлице- шлифоваль- ная	
Шлифовать шлицы окончательно			
Оп. 75 Контрольная	Оп. 90 Контрольная	Оп. 90 Контрольная	
Контроль окончательный			

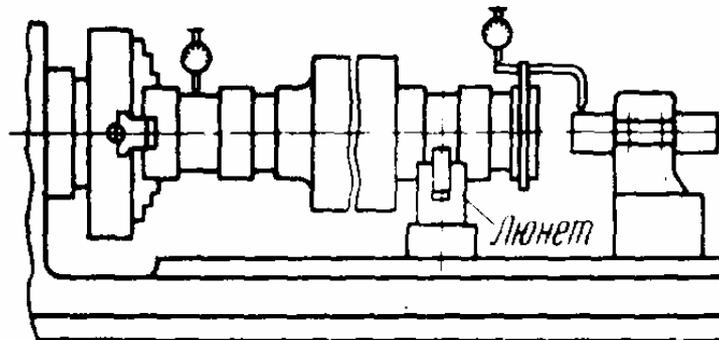


Рис. 6.58. Схема установки заготовки в патроне и неподвижном люнете с выверкой

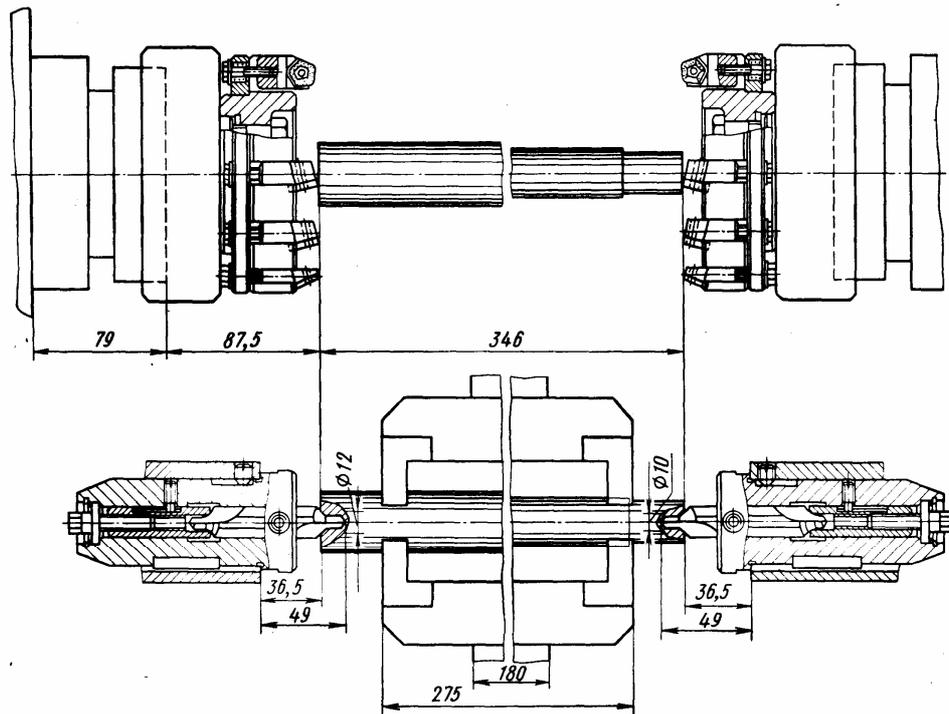


Рис. 6.59. Наладка фрезерно-центровального станка

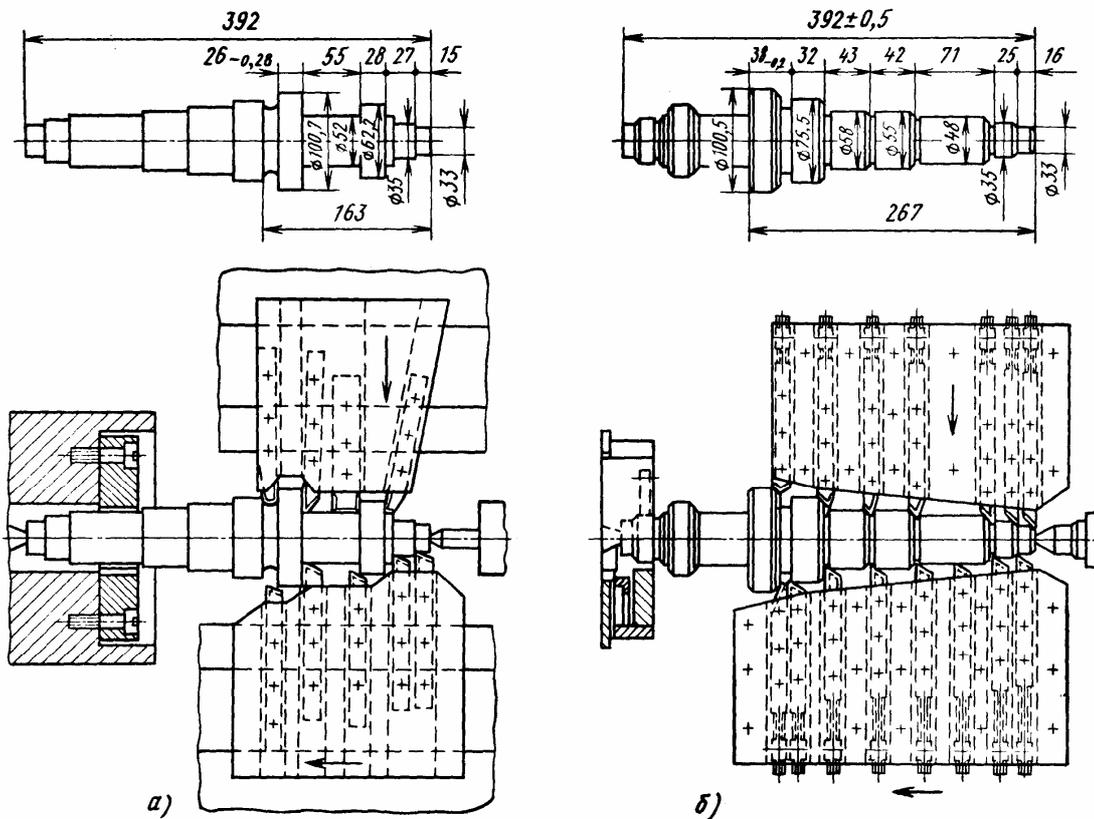


Рис. 6.60. Наладка токарно-многолезцовых полуавтоматов для полной токарной обработки ступенчатого двухстороннего валика:
a – обработка одной стороны; *б* – обработка другой стороны

Токарно-многорезцовые полуавтоматы более производительны и менее точны по сравнению с токарно-копировальными станками. Поэтому они используются для черновой обработки. Токарно-копировальные станки – для чистовой. На токарно-многорезцовых обработка (черновая) выполняется в две операции на двух станках с различной наладкой: обработка с одной стороны и обработка с другой стороны. На токарно-копировальных станках возможна обработка в одну операцию с перестановкой детали и сменой копира.

После черновой обработки производится термообработка детали – улучшение или нормализация с целью повышения обрабатываемости.

В единичном производстве технологический процесс строится по методу концентрации операций. В серийном производстве по методу дифференцирования обработки. В массовом производстве возможно использование как метода концентрации, так и метода дифференцирования. В первом случае токарная обработка выполняется на вертикальных токарно-многорезцовых полуавтоматах с двойной индексацией. Наладка копировального полуавтомата и схема фрезерования шпоночных пазов представлены на рис. 6.61, 6.62.

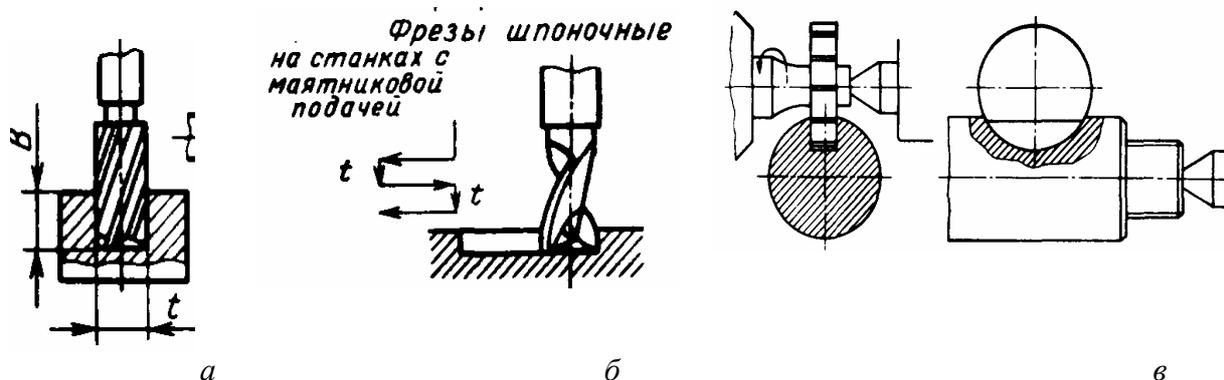


Рис. 6.61. Фрезерование шпоночных пазов:

a – на вертикально-фрезерном станке концевой фрезой; *б* – на шпоночно-фрезерном станке шпоночной фрезой; *в* – на горизонтально-фрезерном станке под сегментную шпонку

Фрезерование по варианту *a* (см. рис. 6.61) более производительно, но не позволяет получать мерный паз с оговоренными чертежом отклонениями по размеру t . Шпонка подгоняется «по месту» припиливанием.

Резьба перед цементацией должна предохраняться от насыщения углеродом. В единичном и мелкосерийном производстве резьбовую поверхность оборачивают асбестом или нарезают после цементации, оставляя припуск больше толщины цементационного слоя. В серийном и массовом производстве – омедняют.

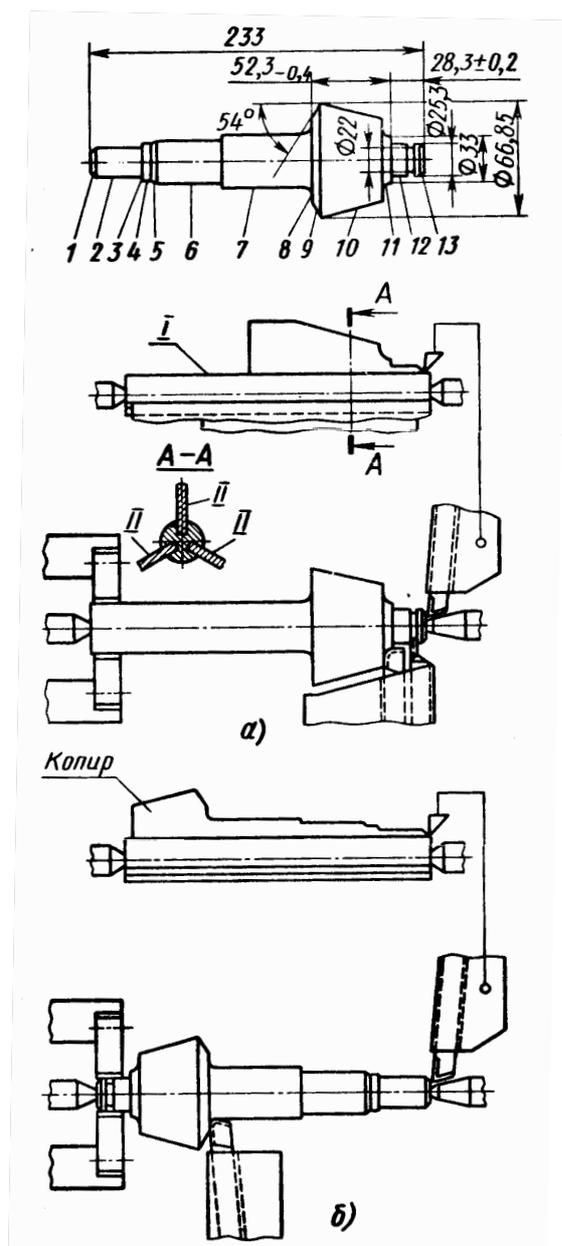


Рис. 6.62. Наладка копировального полуавтомата для обработки конической валшестерни

а – схема обработки одного конца (поверхности 10 – 13):

I – валик крепления копиров; II – копиры;

б – схема обработки другого конца (поверхности 1 – 9)

Типовой технологический процесс обработки тяжелых валов представлен в табл. 6.7.

Перед пространственной разметкой поверхность покрывается суснецидиллом мела (на 8 л воды – 1 кг мела и 50 г столярного клея). Вал устанавливается в контрольные призмы на контрольной плите, штангенрейсмусом проводится горизонтальная риска. Вал поворачивается в призмах на 90° , проводится вторая риска, пересечение рисок накернивается. То же – для второго торца вала (рис. 6.63).

При разметке шпоночного паза штангенрейсмусом прочерчивают ось паза и продольные стороны. Продольный размер и расположение паза намечают штангенциркулем. Контур паза накернивается.

Технологический маршрут обработки тяжелых валов

№ операции	Содержание операции	Оборудование
Оп. 05 Отрезная	Установить деталь; обрезать конец вала; переустановить деталь; обрезать в размер по длине	Фрезерно-отрезной
Оп. 10 Слесарная	Разметить центровые гнезда; накернить	Плита контрольная, призмы, угольники, штанген-рейсмус
Оп. 15 Расточная	Установить деталь; сверлить центровое гнездо с одной стороны; повернуть стол; сверлить центровое отверстие с другой стороны	Горизонтально-расточной
Оп. 20 Токарная	Установить деталь; обточить предварительно, промежуточно и окончательно с одной стороны; переустановить деталь; обточить с другой стороны	Токарно-винторезный; Токарный с двумя суппортами
Оп. 25 Слесарная	Разметить шпоночные пазы	Плита контрольная, призмы, угольники штанген-рейсмус
Оп. 30 Расточная	Фрезеровать шпоночные пазы	Горизонтально-расточной Токарный со специальным приспособлением
Оп. 35 Шлифовальная	Шлифовать поверхности, требующие абразивной обработки ($Ra \leq 1,25$)	Круглошлифовальный Токарный со специальным приспособлением
Оп. 40 Слесарная	Притупить кромки, зачистить заусенцы и др.	
Оп. 45 Контрольная	Контроль окончательный	Плита контрольная

Зацентровка тяжелых валов выполняется на горизонтально-расточных станках. Вал базируется по наружным поверхностям в призмах. Положение шпинделя станка выверяют по разметке. Одно (со стороны большего диаметра вала) или оба центровых отверстия выполняют с рабочим конусом 90° . Получают центровые отверстия формы *A* за два (рис. 6.64) или три перехода: сверление меньшего диаметра, зенкование рабочего конуса и зенкование предохранительной фаски (для формы *B*).

Фрезерование шпоночных пазов производится на горизонтально-расточных станках с установкой в призмы и выверкой по разметке. Ис-

пользование универсального приспособления на токарном станке сокращает перестановки детали, позволяет получить точный паз, в ряде случаев отказаться от разметки.

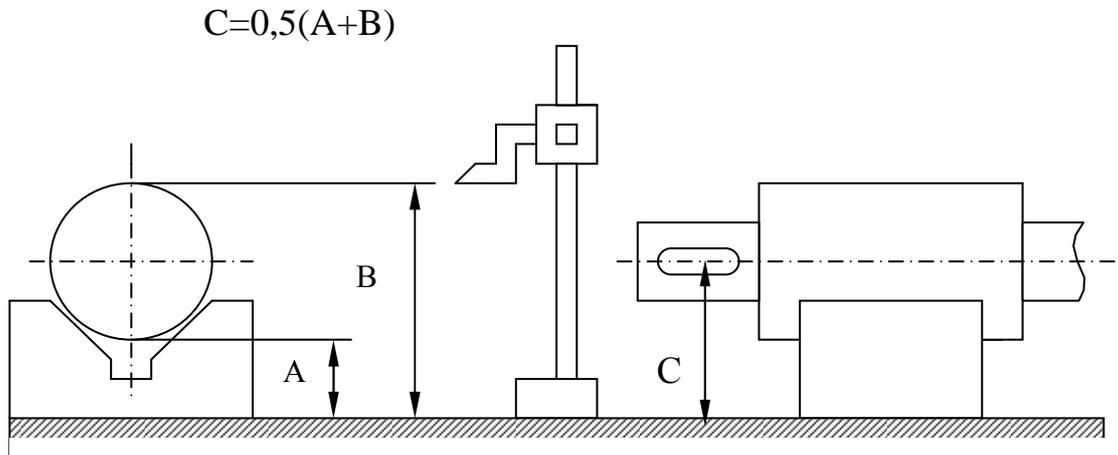


Рис. 6.63. Разметка центровых отверстий и шпоночных канавок

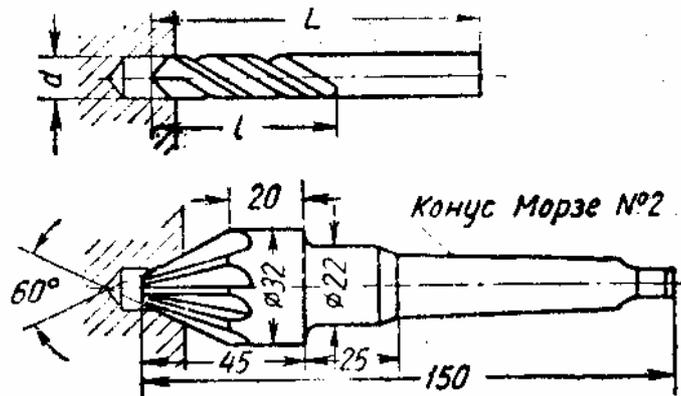


Рис. 6.64. Получение центрового отверстия диаметром 12 мм формы А

Фрезерование шпоночных пазов производится на горизонтально-расточных станках с установкой в призмы и выверкой по разметке. Использование универсального приспособления (фрезерной головки) на токарном станке сокращает перестановки детали, позволяет получить точный паз, в ряде случаев отказаться от разметки

Рассматриваемая головка применяется для фрезерования шпоночных пазов шириной до 32 мм. Шпиндель головки получает вращение через промежуточную передачу от трехскоростного электродвигателя (рис. 6.65) типа А051-6/4/2, имеющего мощности 1,7/2,1/2,8 кВт и скорости вращения 960/1440/2880 об/мин.

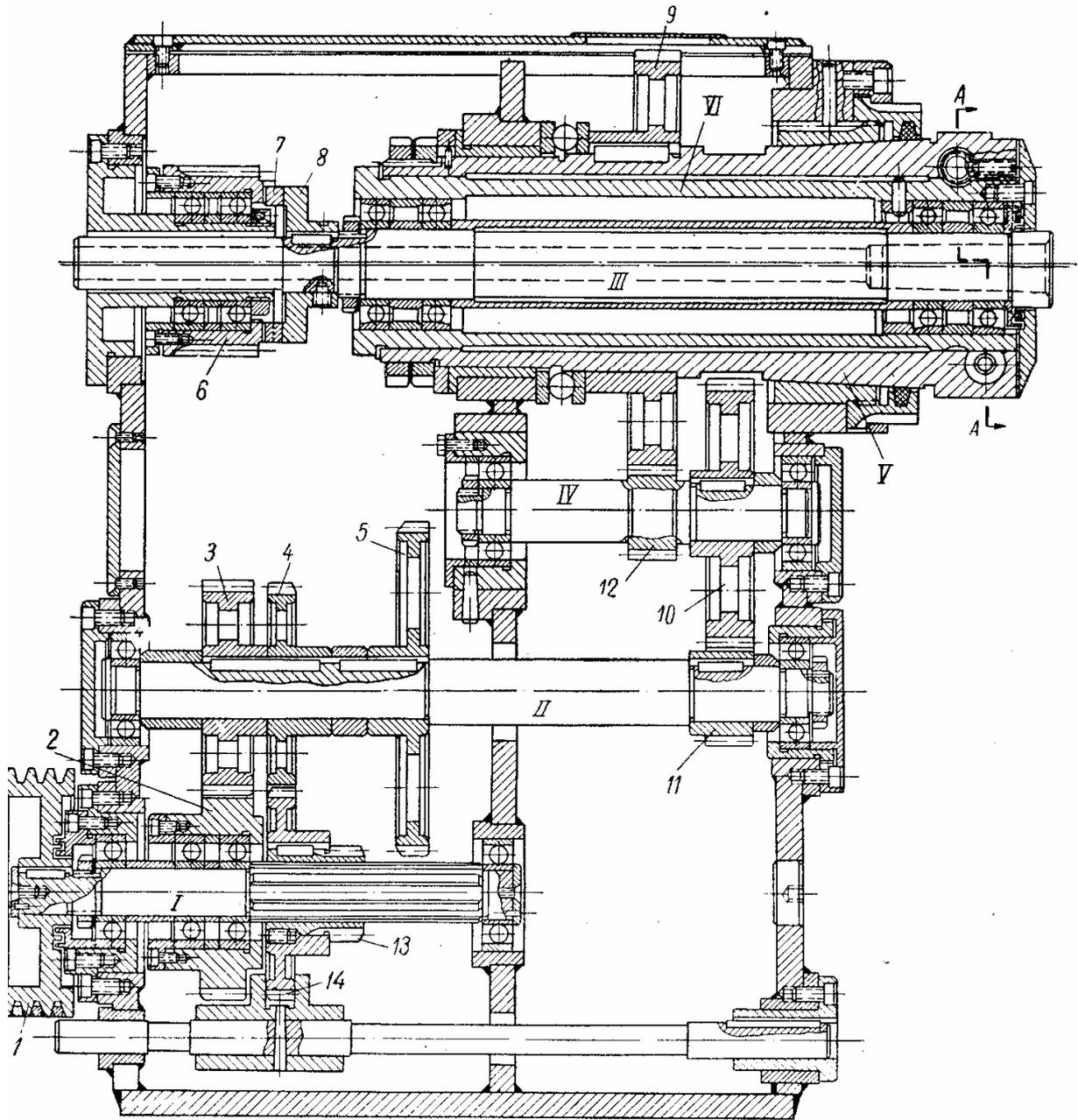


Рис. 6.65. Схема фрезерной головки

Вал установлен в центрах станка. От электродвигателя через клино-ременную передачу вращение сообщается шкиву 1, посаженному на вал I, а от блока шестерен 14 и 13, который можно перемещать по шлицам вала II, шестерням 4 и 5, а следовательно, и валу IV. Вращение шпинделю III сообщается от шестерен 3 через паразитную шестерню 2, шестерню 6, пазы которой связаны с муфтами 7, 8 для возможности смещения шпинделя в радиальном направлении. Со шпинделем III связана втулка VI, на которую посажена гильза V. Последней передается вращение от вала II шестернями 11 и 10 и через вал IV шестернями 12 и 9.

Гильза V и втулка VI имеют отверстия, расположенные эксцентрично по отношению к внешней поверхности, с величиной эксцентриситета 1 мм. При установке втулку VI поворачивают внутри гильзы V с помощью червяка 15. Благодаря этому оказывается возможным смещение оси шпинделя III на величину эксцентриситета до 2 мм. Отсчет поворота производится по лимбу, и после его осуществления гильзу V стопорят.

При такой конструкции фрезе сообщается не только вращательное движение, но ее ось описывает круговую траекторию, что позволяет обеспечивать получение необходимой ширины паза за один проход.

Число оборотов шпинделя III колеблется: $n = 160 \dots 2000$ об/мин.

Отклонение по ширине обработанных пазов составляет 0,01 мм при чистоте поверхности Ra 1,25. При необходимости фрезерования в детали нескольких шпоночных пазов, расположенных под некоторыми углами один относительно другого, на планшайбе станка следует установить делительный механизм или использовать методы деления при нарезании многозаходных резьб.

6.5. Изготовление шпинделей

Шпиндель металлорежущего станка является одной из наиболее ответственных деталей. Качество обрабатываемых на станке деталей в значительной степени зависит от качества самого шпинделя и его опорных шеек, от жесткости шпинделя и стабильности его положения в опорах.

Основное служебное назначение шпинделя станка – сообщать обрабатываемой детали или режущему инструменту вращательное движение с определенными скоростью и крутящим моментом. В современных станках они очень высокие, поэтому качеству изготовления и самого шпинделя, и шпиндельного узла с его опорами предъявляют высокие требования.

В качестве опор шпинделей станков применяют подшипники качения и подшипники скольжения. Шпиндель, несущий на себе обрабатываемую деталь или режущий инструмент, рядом своих размеров непосредственно участвует в размерных цепях – станок-приспособление-инструмент-заготовка (СПИЗ), непосредственно влияя на точность обрабатываемой детали. Прежде всего, это относится к опорным шейкам, выполняющим роль основных баз, размеры которых вследствие вращения шпинделя включаются в размерную цепь и непосредственно влияют на точность обрабатываемой детали. Поэтому для обеспечения стабильности положения оси вращения шпинделя необходимо прежде всего обеспечить равенство радиусов в каждом из сечений его опорных шеек, правильность геометрической формы шеек, их относительного положения (точности поворота), соосности и шероховатости поверхности.

Для сохранения неизменности положения шпинделя в осевом направлении во время работы станка необходимо обеспечить с определенной точностью перпендикулярность основных опорных базирующих поверхностей оси вращения шпинделя и соосность с ней резьбы установочных прижимных гаек, если они имеются в конструкции.

Точность положения детали или режущего инструмента, установленного в шпинделе непосредственно или при помощи зажимных цанг, патронов, вспомогательного инструмента, относительно оси вращения шпинделя определяется точностью исполнительных поверхностей и их соосности с осью вращения шпинделя. Такими исполнительными поверхностями являются конические или цилиндрические поверхности центрального отверстия шпинделя или центрирующие конусы, или цилиндрические пояски с опорным фланцем для установки зажимных патронов.

В соответствии со служебным назначением шпинделя устанавливаются и технические условия для него. Важнейшие из них – точность геометрической формы и размеров посадочных поверхностей и прежде всего опорных шеек и исполнительных поверхностей, а также точность совпадения осей исполнительных поверхностей шпинделя с осями опорных шеек.

Как правило, требования по всем параметрам точности шпинделя современных станков очень высокие. По точности изготовления шпиндели станков делятся на пять групп, как и станки (группы точности Н; П; В; А; С). Отклонение геометрической формы опорных шеек по овальности и конусности для станков нормальной точности обычно не должно превышать 50% допуска на диаметральные размеры шеек, для станков повышенной точности не превышать 25%, а для прецизионных лежат в пределах 5...10%. Совокупность всех отклонений формы в поперечном сечении цилиндрической поверхности определяется некруглостью (ГОСТ 10366-83). Так, отклонение от круглости опорных шеек в зависимости от диаметра шпинделя колеблется для станков нормальной точности от 4,0 до 1,2 мкм, а для современных прецизионных станков 0,3...0,5 мкм. Допускаемые отклонения геометрической формы по конусности 1,25...1,50 мкм на длине 300 мм при допуске на диаметр 1,5 – 3,0 мкм.

Торцовое биение опорных фланцев относительно оси вращения шпинделя в зависимости от их диаметра для станков нормальной точности не превышает 0,006...0,008 мм, а для прецизионных станков 0,002...0,003 мм и меньше. Для шпинделей с резьбой, на которую навертывают установочные опорные кольца, необходимо устанавливать допустимое отклонение от совпадения оси резьбы с осью опорных подшипников; для станков нормальной точности она не превышает 0,025 мм. Это необходимо для того,

чтобы избежать при монтаже шпиндельного узла перекоса колец шариковых и роликовых подшипников, т.к. установочные гайки при большом биении будут нажимать на подшипники одной стороной. С этой же целью ограничивается и биение торца опорной гайки. При плотно накрутой гайке на шпиндель торцовое биение не должно превышать 0,025 мм на радиусе 50 мм (рис. 6.66).

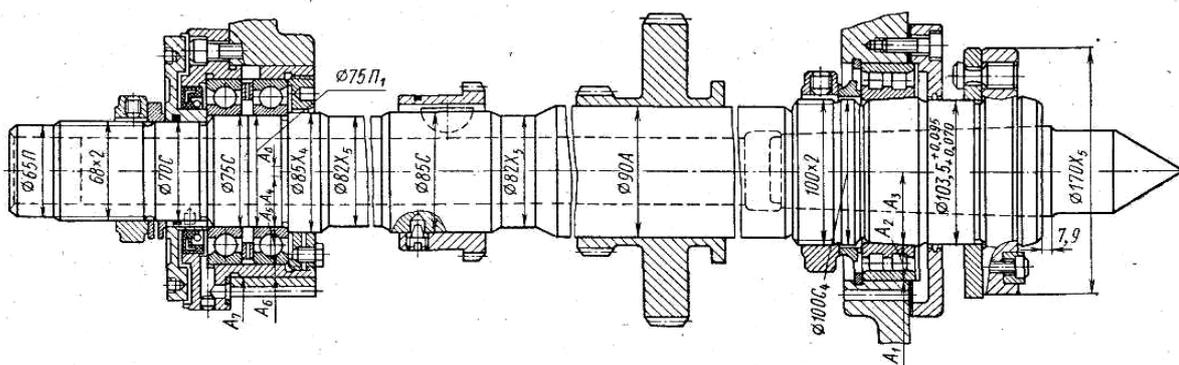


Рис. 6.66. Шпиндель токарно-винторезного станка

Шероховатость поверхности и твердость опорных шеек, особенно для шпинделей, работающих в подшипниках скольжения, влияют на сохранение стабильности положения шпинделя при эксплуатации станка. По этим параметрам точности к шпинделям предъявляют также очень высокие требования (табл. 6.8).

Выбор материала для изготовления шпинделя определяется назначением станка и условиями работы шпинделя. К шпинделям, работающим на опорах скольжения, кроме основных требований, предъявляемых ко всем шпинделям – прочности и жесткости, предъявляется требование высокой износостойчивости. В табл. 6.9 указаны марки сталей, рекомендуемые для изготовления шпинделей в зависимости от их назначения.

Таблица 6.8

Классы чистоты отдельных поверхностей шпинделей станков

Поверхности	Группы точности				
	Н	П	В	А	С
Шейки под подшипники качения	8	9	10	11	–
Шейки под подшипники скольжения	9	10	11	12	13
Основные рабочие поверхности	8	9	10	11	–
Вспомогательные конструкторские базы	7	8	9	9	–

**Наиболее употребительные марки сталей,
рекомендуемые для изготовления шпинделей, работающих в легких и средних условиях
(токарные, фрезерные, револьверные, шлифовальные станки)**

Марка стали	Класс точности	Подшипники	Твердость опорных шеек
45(40X)	Н	Качения Скольжения	HRC 30 HRC 50
45(40X)	П	Качения	HRC 48-52
18ХГТ для Ø до 60мм	В	То же	HRC 56-60
12ХНЗА для Ø более 60	П	Скольжения	HRC 58-62
38ХФЮА 38ХМЮА	В А	Скольжения	Азотирование HRC

В настоящее время для шпинделей токарных станков, работающих в средних условиях, применяют высокопрочный (магниевоый) чугун, по прочности не уступающий стали. Для изготовления пустотелых шпинделей некоторых тяжелых станков используют серый чугун СЧ 21-20, СЧ 15-32 и модифицированный чугун (значительно реже стальное литье). Сталь 35ХЮА применяют для изготовления шпинделей тяжелых расточных и круглошлифовальных станков. Твердость закаленной поверхности после азотирования достигает HRC 66-68.

В зависимости от масштаба выпуска в качестве заготовок для шпинделей применяют поковки, реже стальное литье, прутковый материал и трубы. Заготовки чугунных полых шпинделей получают центробежным литьем в металлические формы.

Заготовки для единичного и мелкосерийного производства обычно изготавливают из нормального проката или из поковок, полученных свободной ковкой. В этом случае получают заготовки при очень низком коэффициенте использования металла (0,2...0,4) с большими и неравномерно расположенными по отдельным поверхностям припусками, что затрудняет их обработку на настроенных станках. Таким методом получают обычно стальные шпиндели и пиноли задних бабок для тяжелых станков.

В производстве с более крупными сериями выпуска заготовок стальных шпинделей целесообразно изготавливать горячей высадкой на горизонтально-ковочных машинах или ковкой на ротационно-ковочных машинах. В первом случае расход металла по сравнению со свободной ковкой сокращается на 20%, и коэффициент использования металла для шпинделя токарного станка составляет 0,5; во втором случае коэффициент использования повышается до 0,8 и значительно снижается трудоемкость обработки.

В зависимости от целевого назначения различают: 1) полые шпиндели, имеющие сквозное осевое отверстие, которое на одном или на обоих концах переходит в точное цилиндрическое или конусное; 2) шпиндели, имеющие несквозное точное цилиндрическое или коническое осевое отверстие; 3) сплошные шпиндели без осевого отверстия.

Наиболее обширна первая группа шпинделей для наибольшего количества типоразмеров станков; они же отличаются и наибольшей сложностью в обработке.

Все заготовки шпинделей, полученные ковкой или штамповкой, перед механической обработкой подвергают термической обработке (нормализации, улучшению), т.к. после снятия с поверхности шпинделя слоя металла может произойти значительное перераспределение внутренних напряжений, а это повлечет за собой значительные деформации шпинделя не только после последующей обработки опорных шеек, но даже при его эксплуатации после того, как шпиндель будет смонтирован на станке. Избежать этого можно не только правильным выбором материала и термической обработкой заготовки, но и созданием наиболее технологичной конструкции шпинделя и правильным технологическим процессом с разделением обработки на черновую, чистовую и отделочную.

Основными базами шпинделя (рис. 6.67) являются его опорные шейки, но т.к. использовать их в качестве технологических баз на большинстве операций обработки не представляется возможным, то при обработке наружных поверхностей технологическими базами служат поверхности центровых отверстий.

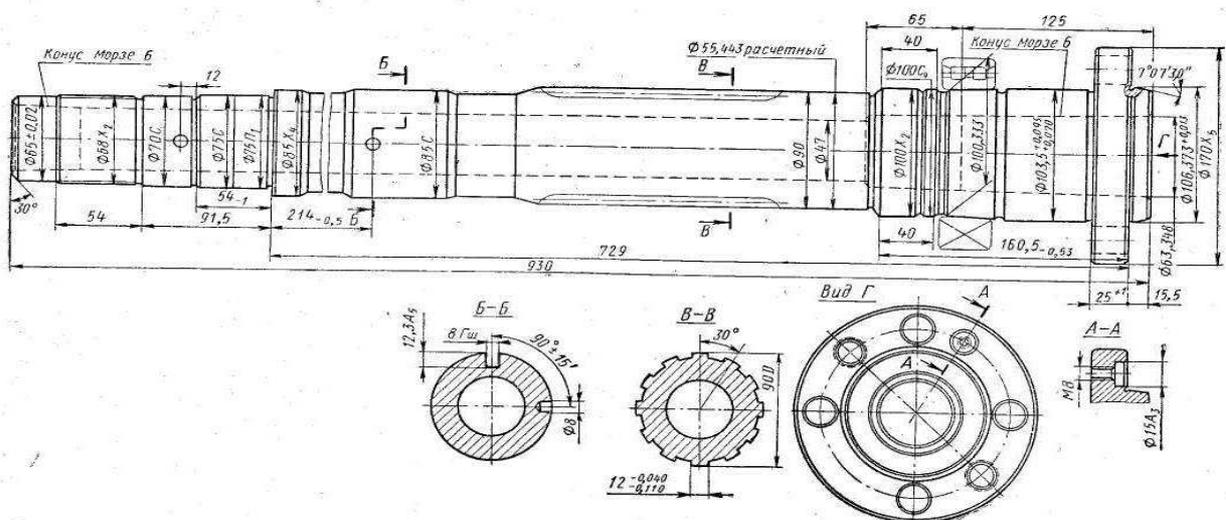


Рис. 6.67. Шпиндель токарного станка (рабочий чертеж)

При обработке же центрального отверстия в шпинделях первых двух групп в качестве технологической базы используют его основные базы – опорные шейки.

Чистовую и отделочную операции опорных шеек и соосных с ними наружных поверхностей шпинделей с осевым отверстием производят на специальных пробках (рис. 6.68) или оправках с зацентрированными отверстиями. Пробки вставляют в расточенные с обоих концов цилиндрические или конические отверстия шпинделя, которые служат технологическими базами. Пробки, входящие дополнительным звеном в технологическую размерную цепь при их смене на различных операциях, могут дать существенные ошибки установки, которые перенесутся на положение исполнительной поверхности центрального отверстия относительно поверхности опорных шеек. Чтобы уменьшить это влияние ошибки на конечную точность шпинделя, чистовые и отделочные операции обработки наружных поверхностей следует выполнять на одних и тех же пробках, вставленных в шпиндель, без их смены. Это потребует большее количество пробок или оправок, но зато повысится точность обработки.

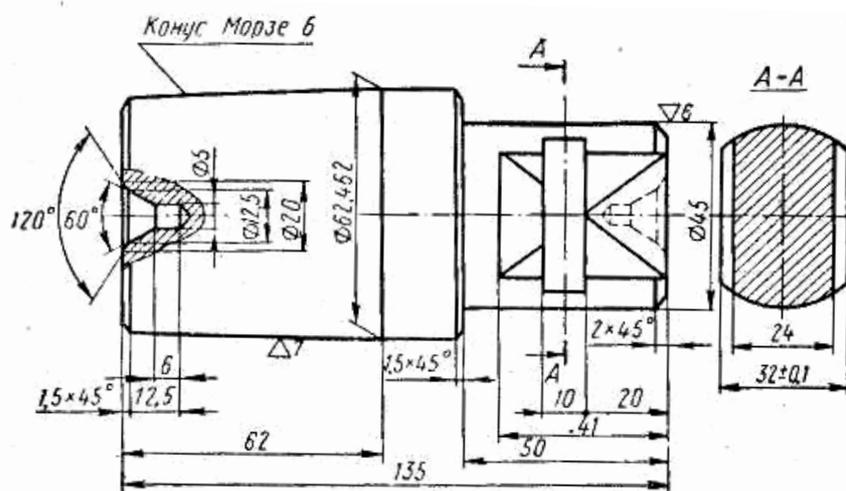


Рис. 6.68. Шпиндель токарного станка (рабочий чертеж)

В табл. 6.10 приведен технологический маршрут обработки шпинделя токарного станка 1К62 (см. рис. 6.67) в условиях серийного производства. По мере необходимости в технологический маршрут можно включать операцию правки шпинделя после термической обработки, особенно для шпинделей, изготавливаемых из цементируемых сталей, т.к. они подвергаются длительному нагреву.

Маршрут обработки шпинделя токарного станка 16К620

Содержание операции	Технологическая база	Станок
Фрезерование торцев и зацентровка	Поверхности шеек	Фрезерно-центровальный
Черновая токарная обработка по контуру со стороны хвостовика. Подрезка фланца	Поверхность зацентрованных отверстий	Токарно-копировальный
Чистовая токарная обработка наружных поверхностей шеек до фланца под шлифование и прорезка канавок Токарная обработка наружной поверхности головной части шпинделя	Поверхности зацентрованных отверстий	Токарно-копировальный
Сверление осевого отверстия диаметром 46,5 мм с головной части на длину 465 мм и с другой стороны на проход	Наружные поверхности наиболее удаленных шеек	Для глубокого сверления
Рассверливание отверстий диаметром 54 мм на длине 190 мм со стороны головной части шпинделя	Наружные поверхности наиболее удаленных шеек	Вертикально-сверлильный
Чистовая токарная обработка конусных отверстий Морзе № 6 с обоих концов шпинделя и подрезка торцов	Наружные поверхности наиболее удаленных шеек	Токарный 16К620
Сверление отверстий и нарезание резьбы во фланцах	Поверхность конусного отверстия	Вертикально-сверлильный
Термическая обработка: закалить и отпустить поверхность внутреннего и наружного конусов и торец фланца на установке т.в.ч., твердость НРС 48-52		
Предварительное шлифование наружных поверхностей шеек с припуском 0,15 – 0,20 мм	Поверхности зацентрованных отверстий пробок, вставленных в конусные отверстия	Круглошлифовальный
Шлифование конуса 1:12	То же	Круглошлифовальный
Нарезание резьбы 68X2 и 100X2, подрезка торцов упорных гаек, накрученных на шпиндель	То же	Токарно-винторезный
Фрезерование шлицев	То же	Шлицефрезерный
Фрезерование шпоночной канавки и сверление двух отверстий	То же	Вертикально-фрезерный
Отделочное шлифование наружных поверхностей шеек	То же	Круглошлифовальный
Чистовое шлифование конуса 1:12	То же	Круглошлифовальный
Отделочное шлифование поверхности конуса под патрон и торца фланца	То же	Круглошлифовальный
Отделочное шлифование поверхности внутреннего конуса	Поверхность опорных шеек	Внутришлифовальный

Из приведенного технологического маршрута видно, что сохранить единство баз ввиду сложного профиля шпинделя не удастся, поэтому при обработке на различных операциях происходит смена баз. Даже при чистовых обработках наружных поверхностей практически не удастся на всех операциях вести обработку от основных опорных шеек. Это объясняется тем, что опорные шейки расположены на значительном расстоянии от концов шпинделя, поэтому затрудняют использование их в качестве технологических баз без излишнего осложнения зажимных устройств станка и без опасения возникновения вибраций вследствие удаления места опоры от обрабатываемой поверхности. Установка на наружные поверхности шеек, соосных с опорными шейками шпинделя и обработанными совместно на одной операции, не дает значительного увеличения ошибок, выходящих за пределы требований технических условий.

В зависимости от масштаба выпуска черновую и чистовую обработку наружных поверхностей шеек шпинделя производят на токарных, многолезцовых и гидрокопировальных станках.

Обтачивание ведется при скоростях резания 150...160 м/мин, глубине резания 5...15 мм, с подачей 0,32 мм на оборот твердосплавными резцами Т14 и Т15К6. Заготовку устанавливают в центрах с поджимом левым торцом к опорному кольцу, от которого ведется настройка линейных размеров. Крутящий момент передается поводковым патроном с samozахватывающимися кулачками, которые захватывают заготовку за наружную поверхность и тем самым не позволяют обрабатывать на проход по всей длине без перестановки детали. Применять же специальные торцовые поводковые патроны для черновой обработки, требующие большой осевой силы центра задней бабки, нерационально, т.к. это может вызвать продольный изгиб обрабатываемой детали.

При тонких валах или шпинделях значительные силы, создаваемые вдоль их оси гидравлическим или пневматическим цилиндром задней бабки, могут вызвать продольный изгиб деталей, превышающий допустимые биение обрабатываемых шеек под шлифование (не более 0,2 мм), что заставляет вводить дополнительную операцию правки или увеличивать припуск на шлифование.

Иногда после чернового обтачивания шпиндели подвергают термической обработке – нормализации для ослабления внутренних напряжений, улучшения механических свойств и обрабатываемости материала. Осевые отверстия сверлят на специальных станках для глубокого сверления. Один из таких станков (РТ-54) имеет два шпинделя для одновременной обработки двух заготовок. Отверстия диаметром до 80 мм сверлят специальными

Затем в головной части шпинделя рассверливают отверстие, имеющее больший диаметр (до 54 мм), для последующей обработки конуса.

Окончательное растачивание конуса в хвостовой части и предварительное в головной и подрезку торцов производят на токарном станке с применением гидрокопировального суппорта с двух установок. Эти конусные отверстия служат затем технологическими базами, в которые вставляют калиброванные пробки с зацентрованными отверстиями для дальнейшей обработки наружных поверхностей шпинделя.

Последняя операция механической обработки перед термической обработкой – сверление отверстий во фланце и нарезание в них резьбы. Сверлят по накладному кондуктору, базирующемуся по поверхности внутреннего конуса, и торцу фланца. Эту операцию можно производить одновременно на вертикально-сверлильном станке с применением многошпиндельной головки. В этом случае нарезание резьбы выносят в отдельную операцию и выполняют обычно на радиально-сверлильном станке.

Вид термической обработки и ее режимы зависят от выбранной марки стали и требований, предъявляемых к шпинделю. Целью термической обработки является создание высокой степени износостойкости поверхности опорных шеек (основных баз) и исполнительных поверхностей (поверхности внутреннего конуса и центрирующего пояска) с сохранением сырой сердцевины, что обеспечивает высокую первоначальную точность шпинделя и сохраняет ее в течение длительного времени. Эта задача наилучшим образом решается применением поверхностной закалки. Термическая обработка не должна вызывать заметных деформаций и искривления шпинделя. Указанные выше поверхности подлежат закалке и последующему отпуску на твердость HRC 48-52. Шпиндели, работающие в опорах скольжения, закаливают и на более высокую твердость. После термической обработки необходимо промыть и очистить от возможной окалины поверхности технологических баз.

Поверхностную закалку можно производить несколькими способами.

Поверхностная закалка с нагревом т.в.ч. Этот способ в последнее время нашел наибольшее распространение. Преимущество его заключается в кратковременности нагрева (от 0,5 до 20 с) поверхностного слоя металла, который подвергается закалке, в то время как остальная часть металла остается ненагретой, а это почти исключает деформации детали. На закаливаемой поверхности почти совершенно отсутствует окалина. Все это предопределяет оставление незначительных припусков на отделочные операции. Глубина закаливаемого слоя колеблется в пределах 1...5 мм с твердостью более высокой, чем она достигается другими способами закалки. Нагрев и охлаждение закаливаемой поверхности осуществляются при помо-

щи специальных индукторов. На рис. 6.70 показан индуктор для нагрева и закалки наружного конуса и торца фланца шпинделя токарного станка 16К20. Время, необходимое на его закалку, при общем напряжении 11 В, величине тока на сетке 0,3 А и токе на аноде 9 А составляет 50 с. На закалку внутреннего конуса требуется 80 с.

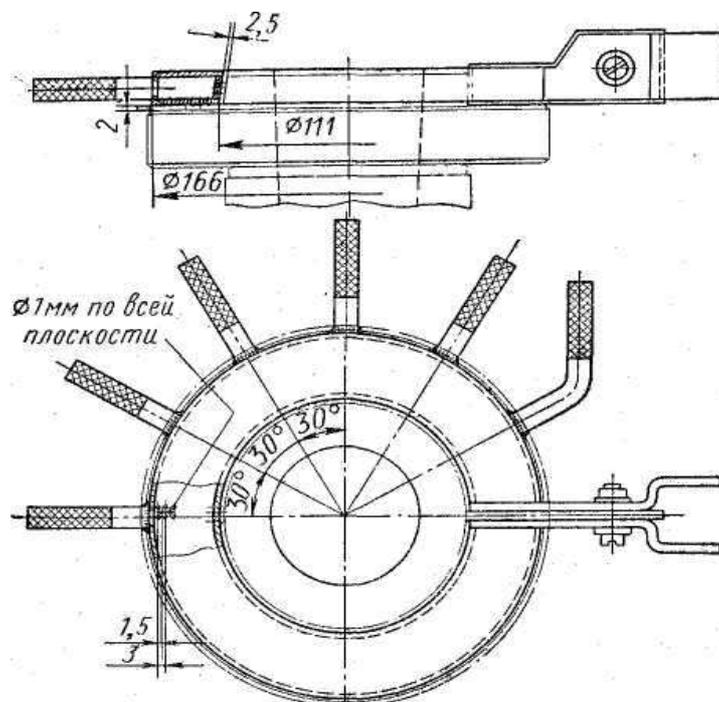


Рис. 6.70. Индуктор для закалки т.в.ч.

Шпиндель при закалке на установке т.в.ч. получает вращательное движение. Отпуск поверхности шпинделя можно производить также на установке т.в.ч. или в шахтных печах типа ПН-34, в последнем случае шпиндель нагревают в течение 2,5 ч при температуре 180°C.

Поверхностная термическая обработка азотированием. Этому методу поверхностной закалки подлежат шпиндели, изготавливаемые из специальных сталей марок 35ХМЮА, 39ХВФЮА и др., содержащих алюминий. Азотированию подвергают обычно шпиндели, работающие в опорах скольжения, когда стремятся добиться минимальной деформации при закалке. Так как этот способ протекает при сравнительно низкой температуре (550...500°C), не вызывающей фазовых превращений металла, то и не наблюдается заметных деформаций. Твердость закаленной поверхности достигает HRC 66-68.

Вследствие незначительной деформации шпинделя, с одной стороны, и трудности обработки азотированного слоя металла, с другой, по-

верхности, подлежащие азотированию, предварительно шлифуют с составлением очень небольшого припуска (0,05...0,06 мм) на последующую отделочную операцию (полирование или шлифование мелкозернистым абразивным материалом). Процесс несложный, но продолжительный.

Все наиболее ответственные операции, в т.ч. и отделочные, обеспечивающие конечную точность шпинделя, выполняют после термической обработки, при этом подавляющее большинство их производится при базировании шпинделя на центровых пробах, вставленных после термической обработки в конусные отверстия.

До окончательной отделки наружных поверхностей шеек и исполнительных поверхностей шпинделя нарезают резьбу и шлицы и фрезеруют шпоночные пазы.

Функции резьб, нарезанных на поверхности, соосных с осью шпинделя, различны. К резьбам, служащим для фиксации зажимных патронов, предъявляют повышенные требования точности, поэтому их нарезают либо полностью на токарном станке, либо с разбивкой на две операции, подвергая предварительному фрезерованию на резьбофрезерных станках с окончательной калибровкой резцами на токарном станке.

При серийном производстве последний вариант в зависимости от масштаба выпуска может оказаться более экономичным, чем первый.

Резьбы для крепления монтируемых на шпинделе деталей кольцами-гайками должны отвечать требованиям нормальной точности, лежащей в пределах 2-го класса, их обычно выполняют мелкими. Такие резьбы в зависимости от требований точности и вида производства (единичного или серийного) также нарезают на токарном станке резцами или на резьбофрезерных станках дисковыми либо гребенчатыми фрезами.

Учитывая высокие требования точности по биению торца смонтированной на шпиндель гайки, во избежание недопустимых перекосов (не более 0,025 мм на $R = 50$ мм) иногда применяют протачивание торцов колец-гаек в сборе со шпинделем, который в таком комплекте и должен следовать на узловую сборку. Такой метод принят в частности при крупносерийном выпуске станков 16К20 на заводе «Красный пролетарий».

Имеющиеся на поверхности шпинделя шпоночные пазы фрезеруют на обычных фрезерных или специальных станках дисковыми или пальцевыми фрезами в зависимости от формы пазов. Шлицы нарезают на шлицефрезерных станках типа 5350А по методу обкатки, и, т.к. поверхность их не подвергается термической обработке, в большинстве случаев для получения шлицев надлежащей точности эта операция является окончательной. В связи с этим к заготовкам предъявляют требования точности по биению

шеек, чтобы они не выходили за пределы допустимого отклонения (не более 0,1 мм у зажимных кулачков). Шлицы можно нарезать и другими способами, которые были рассмотрены при обработке ступенчатых валов.

Надлежащая глубина и параллельность образующихся поверхностей шпоночных канавок и шлицев относительно оси шпинделя наилучшим образом обеспечиваются при установке шпинделя в центрах. Поэтому обработку пазов и шлицев целесообразно производить после термической обработки на тех же пробках, без их перестановки. Если в качестве технологических баз при установке шпинделя в центрах на этих операциях используют поверхности фасок осевого отверстия шпинделя, обработку пазов можно производить и до закалки шпинделя.

Наиболее ответственными операциями, влияющими на конечную точность шпинделя, являются операции отделочной обработки опорных шеек шпинделя, центрирующего пояска для фиксирования зажимного патрона и исполнительной поверхности осевого отверстия. Точность указанных поверхностей у шпинделей для непрецизионных станков, а также у шпинделей, работающих на опорах качения, достигается шлифованием. Для более высокой точности и правильности формы обычно шлифование делят на предварительное и окончательное.

У шпинделей с осевым отверстием наружные поверхности шлифуют на базе поверхностей осевых отверстий на пробках либо на поверхностях фасок, либо на цилиндрических разжимных оправках. В первых двух случаях качество поверхности и их точность получаются выше.

Шпиндели без осевого отверстия шлифуют в центрах на круглошлифовальных станках типа 3161 кругами зернистостью 25-16 и твердостью СМ1 – СМ2. Отделку центрирующего пояска можно вести также в центрах с установкой шпинделя на тех же пробках, на которых производилась окончательная обработка опорных шеек. Однако т.к. пробки являются дополнительным звеном в технологической размерной цепи, они могут внести дополнительную ошибку, которая может оказаться больше, чем это допустимо по соосности обрабатываемой поверхности с осью вращения шпинделя. Поэтому для исключения этих ошибок правильнее операцию шлифования исполнительных поверхностей (внутреннего конуса или центрирующего пояска) выполнять на базе опорных шеек. В этом случае шпиндель базируется поверхностями опорных шеек в двух опорах приспособления – люнета (рис. 6.71), установленного на столе круглошлифовального станка, и приводится во вращение от шпинделя с гибкой связью. Вкладыши специальных люнетов тщательно обрабатывают и при установке приспособления на столе станка выверяют с высокой точностью.

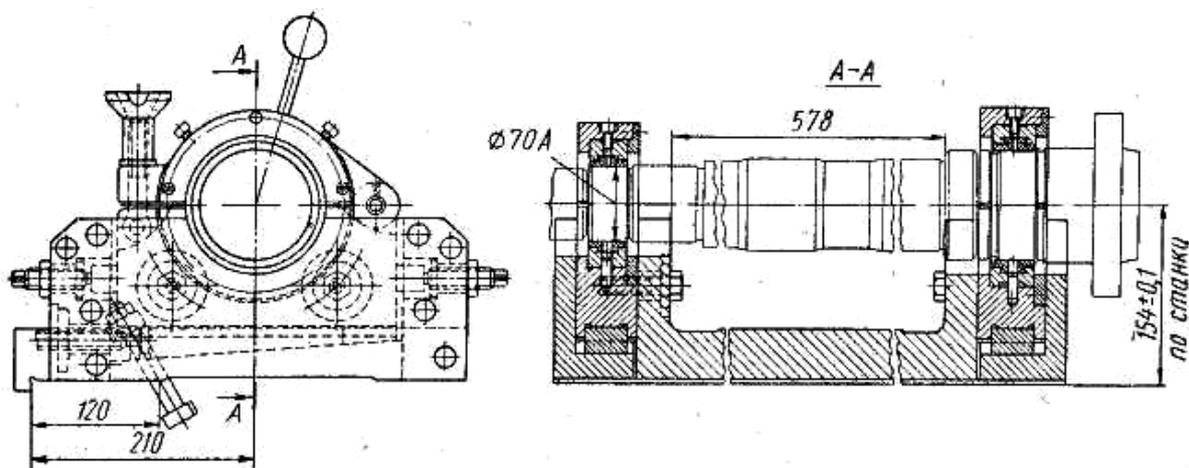


Рис. 6.71. Приспособление для шлифования поверхности осевого конического отверстия шпинделя

Технологический процесс изготовления шпинделей прецизионных станков более сложный, т.к. к таким шпинделям техническими условиями предъявляются более высокие требования. Например, у шпинделя координатно-расточного станка мод. 2А430 конусность и овальность опорных шеек не должны превышать 0,002...0,001 мм, биение – не более 0,003 мм, чистота поверхности опорных шеек – не ниже 12 класса, биение конусного отверстия относительно оси вращения шпинделя – не более 0,0015 мм у конца шпинделя.

Для устранения вредного влияния остаточных напряжений, которые могут вызвать деформации шпинделя не только в процессе его обработки, но и в период эксплуатации, шпиндели прецизионных станков неоднократно подвергают термической обработке.

Требования высокой точности, правильности формы и высокого класса чистоты поверхности опорных шеек и исполнительных поверхностей обычно вынуждают прибегать к неоднократному шлифованию и доводочным операциям. При шлифовании особое внимание уделяется устранению динамической неуравновешенности абразивного круга, которое может возникнуть в процессе обработки и значительно ухудшить качество изделия. В качестве доводочных операций могут применяться притирка, хонингование и суперфиниш.

Для получения поверхности опорных шеек наиболее высокого качества их подвергают суперфинишированию. Сущность этого метода заключается в том, что при определенных условиях мелко зернистыми абразивными брусочками с поверхности детали удаляют гребешки, оставшиеся после предыдущей операции, и поверхность доводится до зеркального вида. Рабо-

чими движениями при суперфинишировании наружных цилиндрических шеек (рис. 6.72) являются вращение шпиндели (в начале процесса со скоростью 10...30, а в завершающей части – 100...120 м/мин), короткие возвратно-поступательные (осцилирующие) движения брусков и продольная подача их вдоль оси обрабатываемого шпинделя при длинных шейках (примерно 0,1 мм/об). Осциллирующее движение брусков происходит с частотой 2000...3000 двойных ход/мин с величиной хода 0,5...2,0 мм.

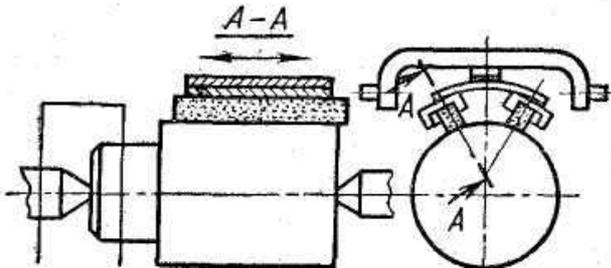


Рис. 6.72. Схема суперфиниширования поверхности

Обработку ведут с применением смазывающей жидкости определенной вязкости. Бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности с удельным давлением 150...200 кН/м² (1,5...2 кгс/см²).

Припуск фактически определяется высотой неровностей, остающихся на поверхности после предыдущей операции шлифования. Для стальных деталей обычная толщина снимаемого слоя при суперфинишировании не превышает 5...7 мкм, поэтому и припуск оставляется порядка 0,005 мм.

Так как суперфиниш уменьшает только шероховатость поверхности и не исправляет макрогеометрию, то перед суперфинишированием обрабатываемые детали должны по геометрической форме (овальность, конусность) отвечать требованиям технических условий по этим параметрам на готовую деталь.

Зернистость абразивных брусков выбирают в зависимости от требуемого класса чистоты. Чистота поверхности шеек, предварительно обработанных тонким шлифованием, после суперфиниша достигает 13 класса.

Обработка шеек под подшипники высокоточных станков производится также тонким шлифованием и доводкой (притиркой). Тонким шлифованием можно получить высокую точность формы (отклонение от круглости до 0,5 мкм) и чистоту поверхности в пределах 10 – 12 классов.

Операцию доводки выполняют с помощью притиров из серого чугуна марок СЧ 18-36, СЧ 21-40, СЧ 24-44 с применением абразивной пасты (электрокорунда – 60%, олеиновой кислоты – 28%, стеарина – 12%), а также алмазной пасты. При доводке частота вращения детали, установленной в центрах токарного станка, в начальный период 100...125 об/мин, а при окончательной доводке 50 об/мин. Операция трудоемкая и требующая рабочего высокой квалификации.

Шпиндели зубошлифовальных и резьбошлифовальных (рис. 6.73) станков высокой точности в условиях серийного и мелкосерийного производства изготавливают по следующему регламенту, разработанному Орг-станкинпромом:

1. Отрезка заготовки из стали 38ХВФЮА.
2. Обработка торцов и центровых отверстий.
3. Черновая обработка наружных поверхностей с припуском 4...5 мм.
4. Термическая обработка (улучшение или нормализация).
5. Токарная обработка технологических шеек под люнет.
6. Токарная обработка торцов, торцовой выточки для последующей обрезки образца «свидетеля» и центрального отверстия начисто, обработку производить в патроне и люнете с выверкой на биение 0,05 мм.
7. Токарная обработка наружных поверхностей под шлифование.
8. Термическая обработка (стабилизирующий отпуск).
9. Токарная отрезка образцов «свидетелей» и клеймение одним номером с деталью.
10. Шлифование центровых отверстий до класса 9.
11. Получистовое шлифование наружных поверхностей и упорных торцов с припуском 0,08...0,10 мм (резьбовые шейки не шлифовать), отклонение от геометрической формы не более 0,01 мм.
12. Термическая обработка (азотирование совместно с образцами).
13. Доводка центровых отверстий.
14. Получистовое шлифование рабочих цилиндрических, конусных поверхностей и упорных торцов. Чистовое шлифование свободных поверхностей и шейки под резьбу. Припуск на финишное шлифование 0,03...0,04 мм; отклонение от геометрической формы опорных шеек – не более 0,004 мм; чистота кл. 9.
15. Чистовое шлифование резьбы на станках высокой точности типа 5822Б с охлаждением – масло индустриальное № 20.
16. Финишное шлифование рабочих цилиндрических и конусных поверхностей и упорных торцов.
17. Суперфиниширование опорных шеек.

Операции шлифования производят на станках повышенной точности класса П типа ЗБ151П, ЗБ161П, а тонкое шлифование – на станках особо высокой точности класса А типа ЗЕ153, ЗЕ12, МАЗН 161. При обработке деталь обычно базируется на неподвижных центрах станка, поэтому к поверхности центрального отверстия предъявляют высокие требования точности. Центровые отверстия целесообразно шлифовать на центрошлифо-

вальном станке типа МВ-119 (МЗКрС) при, вращающейся детали с планетарным и осциллирующим движением режущего инструмента в плоскости, наклоненной под углом 30° к оси конуса.

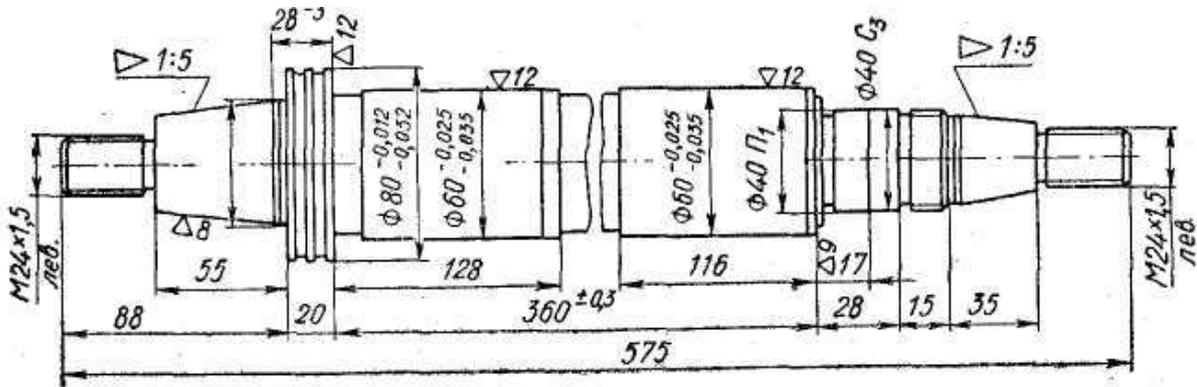


Рис. 6.73. Шпиндель резьбошлифовального станка

Доводку центровых отверстий производят на станке мод. 3922 или на токарных и сверлильных при помощи специальных центров с отклонением угла конуса (60°) не более $+3'$.

В качестве притирочного материала применяют смесь веретенного масла № 3, олеиновой кислоты и микропорошка М7 – М5 в жидкой консистенции.

Обработку шпинделя, начиная с операции 14, следует производить в термokonстантном помещении.

Все шпиндели быстроходных станков проходят балансировку в собранном виде. Качество обрабатываемых на станке деталей во многом зависит от неизменности положения шпинделя в станке и от плавности его вращения. Ошибки в изготовлении и монтаже шпинделя, а также неодинаковая плотность металла, из которого он сделан, приводят к неуравновешенности шпинделя, что при эксплуатации станка может вызвать вибрации. Они снижают стойкость режущего инструмента, качество обработанной поверхности, вызывают усиленный износ опор шпинделя и в ряде случаев либо вынуждают сильно снижать режимы резания, что влечет к понижению производительности, либо вообще прекращать работу.

Неуравновешенность может быть статической, когда не совпадают центр тяжести детали с осью вращения (она вызывает только центробежную силу) и динамической, когда действие неуравновешенных масс вызывает пару сил и центробежные моменты инерции, не равные нулю (рис. 6.74).

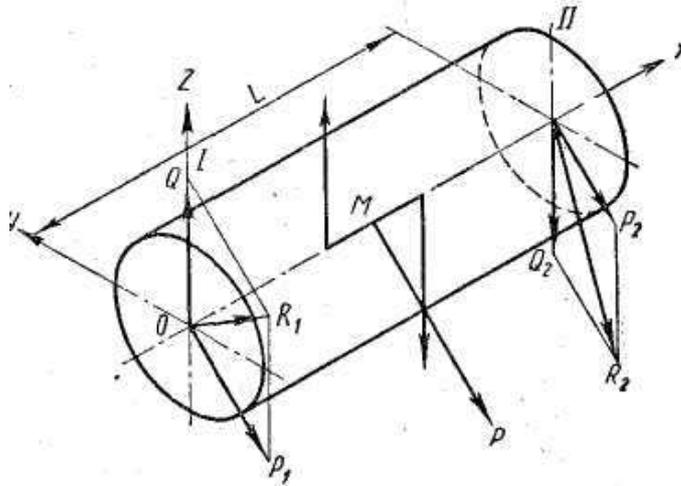


Рис. 6.74. Динамическая неуравновешенность

Для устранения неуравновешенности детали проходят специальную операцию балансировки. Существуют два вида балансировок – статическая и динамическая.

Статическая балансировка применяется обычно для деталей, у которых отношение Q мало (маховики, диски, зубчатые колеса), т.к. влияние динамической неуравновешенности у них невелико. Балансировку производят на оправке с надетой на нее деталью и свободно перемещающейся на двух параллельных ножах или роликах под действием статического момента. Таким образом, определяется направление радиуса приложения уравновешивающего груза.

Шпиндель станков является деталью, у которой отношение длины к диаметру значительно больше единицы. Поскольку на шпиндель монтируют ряд деталей (зубчатые колеса, кольца-гайки, подшипники, втулки, фланцы), то для него характерны оба вида неуравновешенности, поэтому его подвергают динамической балансировке в сборе, которая устраняет оба вида неуравновешенности.

Динамическую балансировку производят на специальных балансировочных станках. Для балансировки шпинделей диаметром до 800 мм и весом 10...100 кг предназначен станок мод. 9Б725А (ЭНИМС). Неуравновешенность на нем определяется измерением амплитуды и фазы колебаний опор.

Неуравновешенность устраняется высверливанием металла в заданных местах балансируемой детали или узла в сборе при помощи двух специальных сверлильных головок, встроенных в балансировочный станок.

Точность изготовления шпинделя проверяют в определенной последовательности: сначала определяют правильность формы поверхностей,

затем их геометрические размеры и потом уже их положение. Такая последовательность необходима для того, чтобы можно было путем исключения ошибок измерять с наибольшей точностью тот параметр, который необходимо проверить.

Измерительными базами при проверке шпинделей обычно являются поверхности его опорных шеек, которые, являясь его основными базами, определяют положение всех остальных поверхностей при работе шпинделя в станке. Поэтому при проверке шпиндель устанавливают опорными шейками с упором в один торец на призмы контрольных плит или специальных контрольных устройств; одна из призм, обычно регулируемая по высоте.

Правильность геометрической формы проверяют индикатором в нескольких сечениях, перпендикулярных оси шпинделя, а также на отклонение от круглости с помощью прибора мод. 218 завода «Калибр».

Отклонения образующей цилиндрической поверхности от прямолинейности проверяют также индикатором, пуговка которого проводится по образующей поверхности параллельно оси шпинделя.

Диаметральные размеры в зависимости от степени точности и диаметра проверяют предельными скобами, штангенциркулями, микрометром (до 0,01 мм), пассаметром (до 0,002 мм) или микрометром (до 0,001 мм). Затем контролируют правильность положения поверхностей относительно оси вращения шпинделя. Отклонение контролируемой поверхности от соосности с осью вращения шпинделя проверяют индикатором при вращении шпинделя вокруг оси. Такую проверку необходимо производить в двух крайних сечениях контролируемой поверхности.

Особое внимание уделяется контролю соосности исполнительных поверхностей с осью вращения шпинделя. Метод проверки зависит от конструкции шпинделя.

6.6. Обработка коленчатых валов

Коленчатый вал является одной из наиболее ответственных деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания. Коленчатые валы двигателей обычно имеют несколько (2...8) опорных коренных шеек и до 8 шатунных.

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

Размеры коленчатых валов автотракторных двигателей: длина (вала 550...1200 мм; диаметр коренных шеек 50...95 мм, 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 – 2 классам точности и по 8 – 10 классам шероховатости; 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 шейки. Шейку переднего конца необходимо обрабатывать по 2 классу точности. Шероховатость поверхностей этих шеек должна соответствовать 7 – 8 классам.

Неплоскостность торца фланца, к которому крепится маховик, должна быть не более 0,04...0,1 мм, а биение на длине его радиус 0,03...0,05 мм.

Коленчатые валы подвергают динамической балансировке. Некоторые типы валов автомобильных и тракторных двигателей приведены на рис. 6.75.

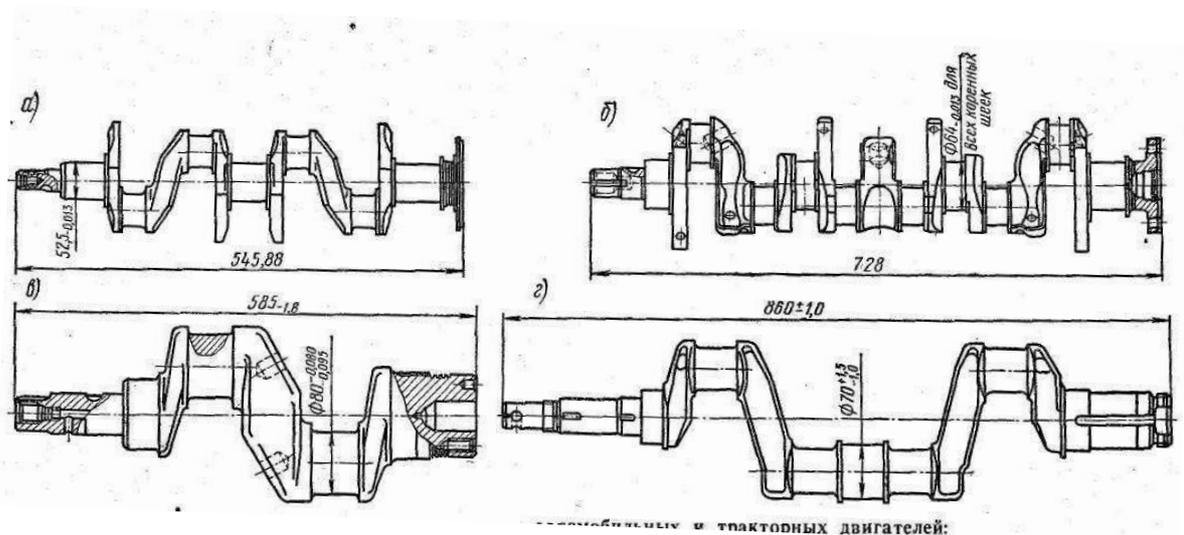


Рис. 6.75. Коленчатые валы автомобильных и тракторных двигателей:
a – малолитражного авто; *б* – грузового; *в, г* – тракторов

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. Литые валы обычно полые, имеют несколько увеличенные диаметры коренных и шатунных шеек, большую толщину щек и радиусы галтелей. Литые валы имеют меньшую прочность при изгибе, чем кованные. Внутренние полости

литых валов обычно бочкообразные, благодаря чему уменьшается неравномерность толщины тела в разных сечения вала и повышается плотность отливки.

Большинство коленчатых валов изготавливают из сталей марок 40Х, 43Х, 45Х, 45Г2 и 50Г. Коленчатые валы дизелей, работающие в условиях высоких нагрузок, изготавливают из сталей марок 18ХНМА, 18ХНВЛ и 40ХНМА.

Заготовки валов, выполняемых из сталей, штампуют. Затем подвергают термической обработке (отжигу и нормализации), при которой снимаются внутренние напряжения в металле и нормализуется его твердость (НВ 177-255), что облегчает обработку заготовок на металлорежущих станках,

После предварительной обработки на металлорежущих станках поверхности коренных и шатунных шеек стальных валов вторично подвергают термической обработке (закалке и отпуску). Закалка проводится токами высокой частоты 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...0,014%), присутствием церия и других легирующих компонентов.

Для коленчатых валов применяют также серые чугуны, модифицированные сплавом ферроцерия с магнием.

Масса литых коленчатых валов на 10...15% меньше, чем штампованных. Припуски на механическую обработку у литых заготовок значительно меньше, чем у штампованных заготовок.

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 HRC 52-62. Глубина закаленного слоя должна быть не менее 3...6,5 мм, а твердость шеек на глубине закаленного слоя HRC 45.

Заготовки стальных коленчатых валов изготавливают штампованием на молотах и прессах по 8 – 9 классам точности. При серийном производстве заготовки штампуют на молотах, а при массовом – обычно на ковочных прессах. Штамповка на ковочных прессах в 1,5 – 2 раза производительнее, она обеспечивает уменьшение штамповочных уклонов до $3...6^\circ$, припусков на механическую обработку на 30...40% и расхода металла на 10...12% (рис. 6.76).

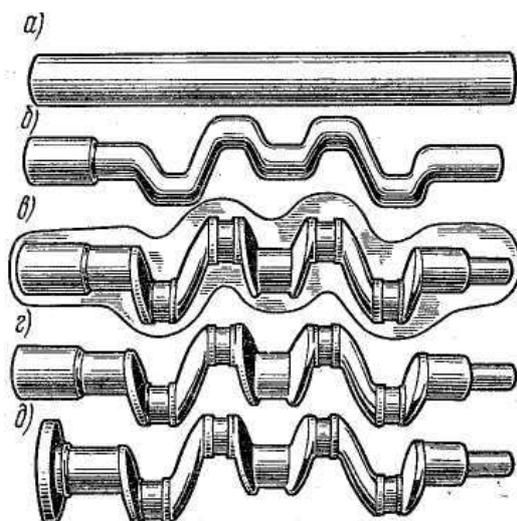


Рис. 6.76. Штамповка коленчатого вала на прессе

Заготовки литых валов получают в основном двумя методами: отливкой в земляные и в оболочковые формы (рис. 6.77).

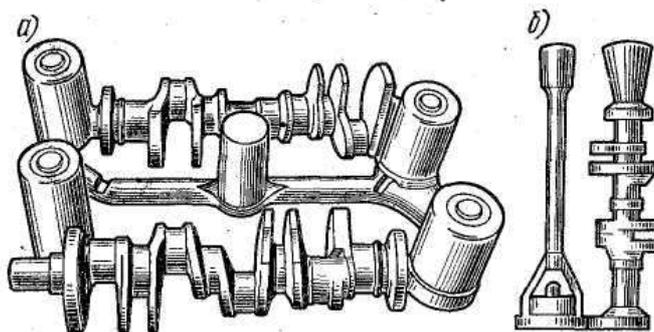


Рис. 6.77. Отливка коленчатого вала в песчано-глинистую форму

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 или на фрезерных и центровальных станках за две операции. Для массового производства валов часто применяют станки фрезерно-центровальные барабанного типа.

Заготовка центруется по двум крайним коренным шейкам в приспособлении сходящимися призмами 1 и 2 (рис. 6.78), 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.

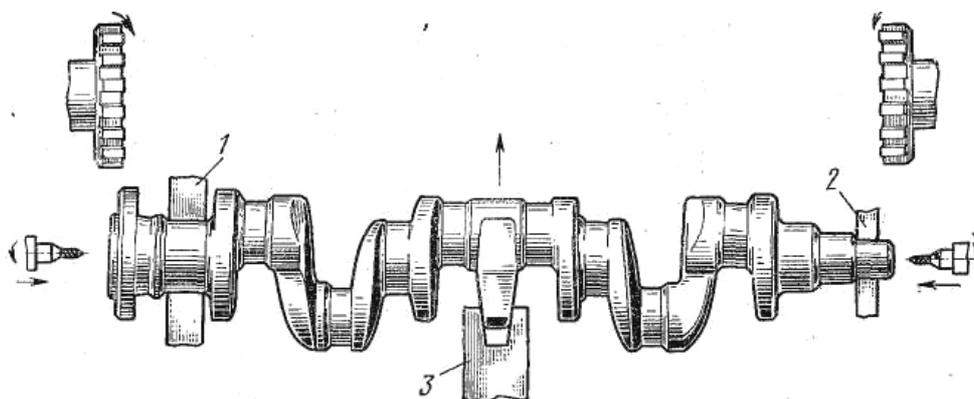


Рис. 6.78. Схема обработки коленчатого вала на фрезерно-центровальном станке

В массовом производстве применяют четырехпозиционные фрезерно-центровальные станки для фрезерования торцов, платиков на щеках (угловые базы) и сверления центровых отверстий. Одна из четырех позиций станка является загрузочно-разгрузочной; установка и съем заготовки механизированы. Весь цикл работы станка, включая закрепление заготовки, подачу и поворот стола с заготовками, полностью автоматизирован.

Применяются и балансировочно-центровальные станки, которые центруют 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 центровочных сверл, установленных в шпинделях станка.

На большинстве заводов шейки 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 – правке центровых отверстий.

При крупносерийном и массовом производстве валов токарные, сверлильные, шлифовальные и другие станки встраиваются в автоматические линии.

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 двухсторонним приводом. На этих станках заготовки устанавливаются в центрах двух патронов (рис. 6.79). Для обеспечения постоянной скорости резания в процессе обработки в конструкциях станков предусмотрено бесступенчатое изменение чисел оборотов шпинделя. Станки позволяют обтачивать шейку с точностью до $0,2...0,3$ мм (5 – 7 классы) и по 4 классу шероховатости. Биение шеек вала равно $0,3...0,5$ мм.

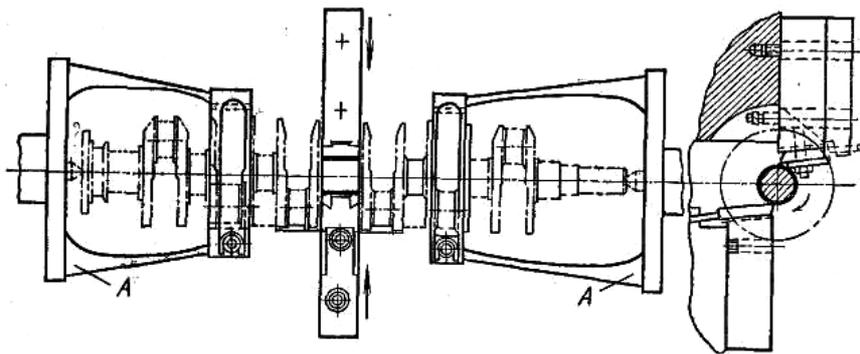


Рис. 6.79. Протачивание средней шейки коленчатого вала и подрезка щек на товарном полуавтомате с двухсторонним приводом

После токарной обработки средняя шейка шлифуется под люнет методом врезания. Одновременно с шейкой шлифуются торцы щек и галтели. На шлифовальных станках в таких случаях заготовки устанавливают в центрах, а вращение заготовок осуществляется с помощью поводковых патронов (рис. 6.80).

Используя среднюю коренную шейку как дополнительную опору, в последующих операциях обтачивают остальные коренные шейки, фланец и передний ступенчатый конец; одновременно с этим подрезают торцы щек, фланца и обтачивают галтели. Для этого используют токарные многолезцовые полуавтоматы с центральным приводом (например, модель 186 и др.). На этих станках заготовки устанавливаются в центрах, а средняя коренная шейка – в люнете (рис. 6.81). Поводком является щека средней шейки. В этой операции одновременно обтачивают остальные коренные шейки (кроме средней), ступенчатый конец вала, фланец и подрезают торцы щек и галтели. Шейки обтачивают широкими радиальными призматическими резцами, установленными в передних и задних суппортах.

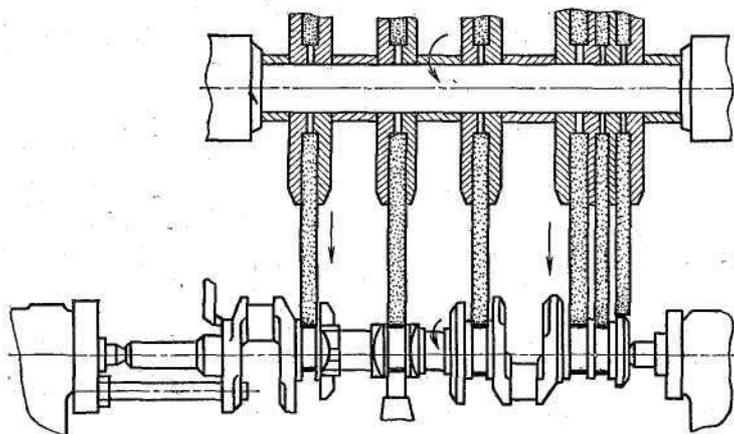


Рис. 6.80. Шлифование коренных шеек коленчатого вала

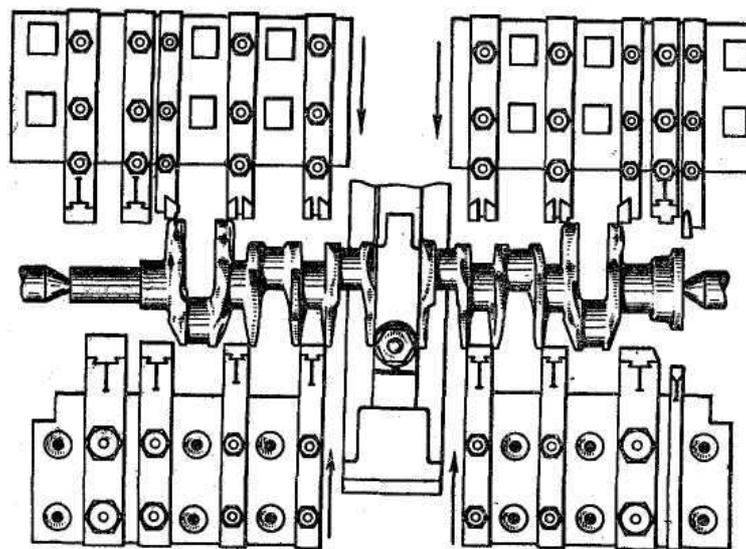


Рис. 6.81. Схема обтачивания коренных шеек и концов коленчатого вала на токарном полуавтомате с центральным приводом

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 шести коленчатого вала должно выполняться за три операции, во втором все шатунные шейки можно обточить одновременно. Для обработки по первому варианту могут быть использованы станки с двусторонним приводом (модель 187). В этом случае коленчатый 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. 6.82).

Станок снабжен двумя копирными коленчатыми 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 уменьшает 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 два раза. Сначала его устанавливают в верхнюю позицию, затем переключают в нижнюю.

В последние годы применяется обработка шеек, щек и галтелей методом ротационного фрезерования (рис. 6.83).

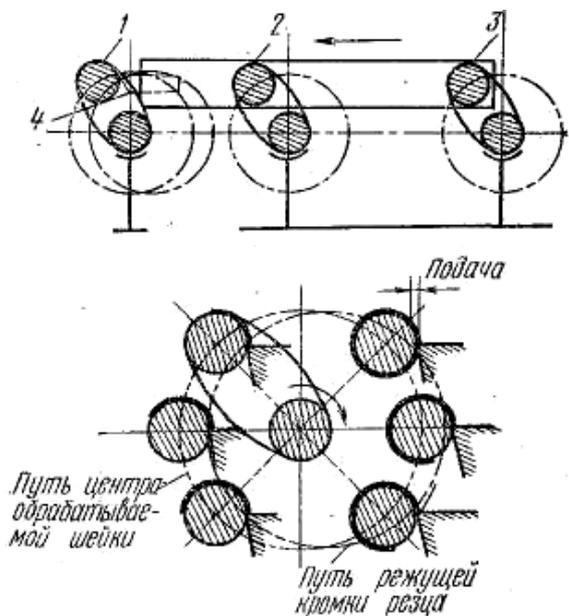


Рис. 6.82. Одновременное обтачивание всех шатунных шеек коленчатого вала

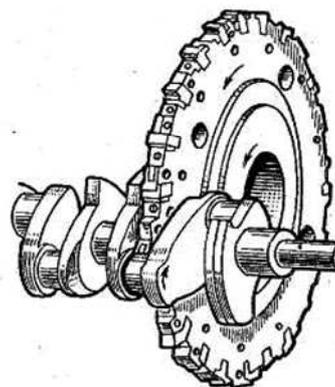


Рис. 6.83. Ротационное фрезерование шейки коленчатого вала

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 неуравновешенности заготовки.

Шейки стальных заготовок коленчатых валов шлифуют предварительно до термической обработки и окончательно – после нее на станках ХШ-335.

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

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

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

После термической обработки коренные шейки 1 – 2 раза шлифуют методом врезания. Заготовки устанавливают в центрах и поддерживают люнетами.

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

Шатунные шейки валов после термической обработки шлифуют предварительно и окончательно на станках ХШ-2-01 и ХШ-2-02. Заготовки на станках устанавливают, так же как и при шлифовании, до термической обработки.

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

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

Суперфиниширование шеек осуществляют головками с абразивными брусками. 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 зернистостью 600 и выше. Шероховатость поверхности после суперфиниширования соответствует 10 – 13 классам.

Полируют шейки полотняной или бумажной лентой на специальных полировальных станках. Полирование проводят за одну операцию, но иногда и за две операции. При этом предварительно шейки полируют лентой с абразивным порошком зернистостью 180 – 240 и окончательно лентой с абразивным порошком зернистостью 240 – 300. Коренные и шатунные шейки полируют одновременно, т.е. число полировальных суппортов на станке равно числу шеек вала.

При полировании снимают припуск, равный 0,010...0,015 мм. Полирование абразивной лентой ведется при скорости $v = 15 \sim 4 \dots 20$ м/мин и при числе оборотов $n = 100 \dots 150$ в минуту. Шероховатость после предварительного полирования шеек должна соответствовать 8 классу, а после окончательного – 9 – 10 и выше. Продолжительность полирования шеек колеблется в пределах 3...5 мин.

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

Созданы специальные станки, которые обеспечивают согласование в процессе обработки следующих параметров: частоты и 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 брусков на обрабатываемую поверхность 14...30 (1,4...3,0 кгс/см²) с частотой 500...1500 колебаний в минуту и амплитудой 3...5 мм. Окружная скорость вращения обрабатываемых деталей равна 18...40 м/мин. При микрофинишировании снимается припуск 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.

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

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 накатниками. В результате шероховатость поверхности повышается примерно на два класса: с 7 до 9 – 10. При обкатывании с усилием около 1000 кГ твердость поверхностного слоя увеличивается примерно на 20...30%, а предел усталости при изгибе повышается на 50...60%.

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

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 посадочное отверстие под подшипник диаметром 30...50 мм, длиной 40...70 мм, а в переднем конце вала сверлится отверстие, зенкуется и нареза-

ется резьба. На переднем конце вала обрабатывают также шпоночные пазы под шпонки ведущей шестерни распределения и шкива вентилятора.

При крупносерийном и массовом производстве для этих целей широко применяют двусторонние многопозиционные агрегатные станки барабанного типа. Схема наладки шестипозиционного станка показана на рис. 6.84.

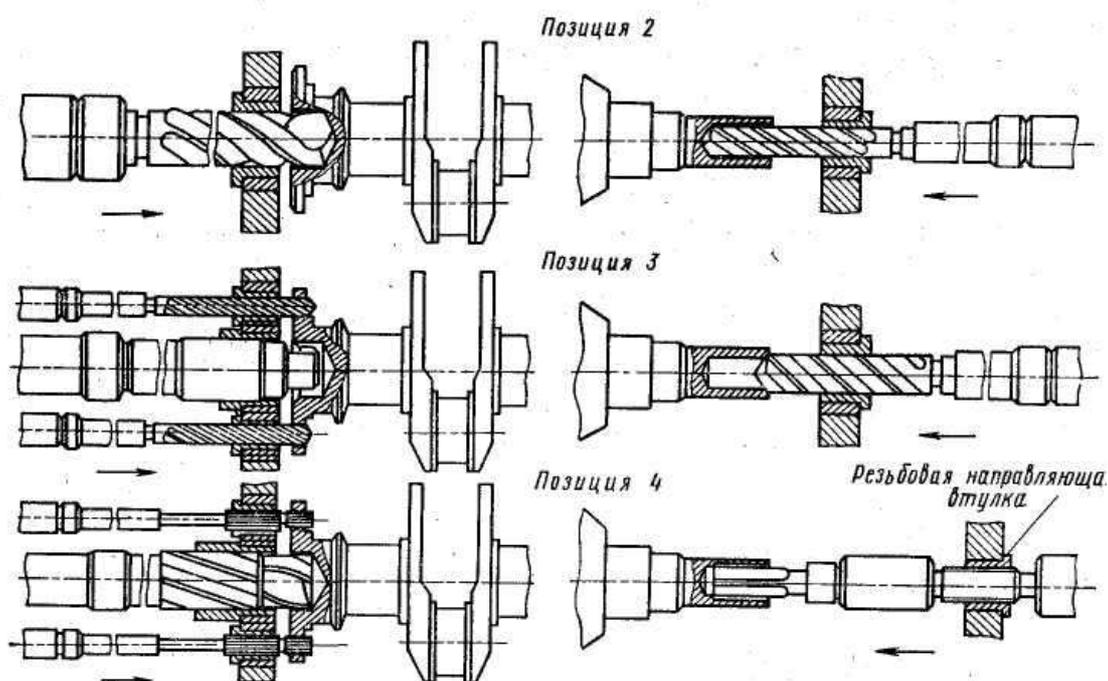


Рис. 6.84. Схема наладки двустороннего шестипозиционного сверлильного станка для обработки отверстий в переднем и заднем концах коленчатого вала

У коленчатых валов отверстия под маслопроводные каналы обрабатывают на двусторонних многшпindelных горизонтально-сверлильных станках, оснащенных стационарными приспособлениями (рис. 6.85).

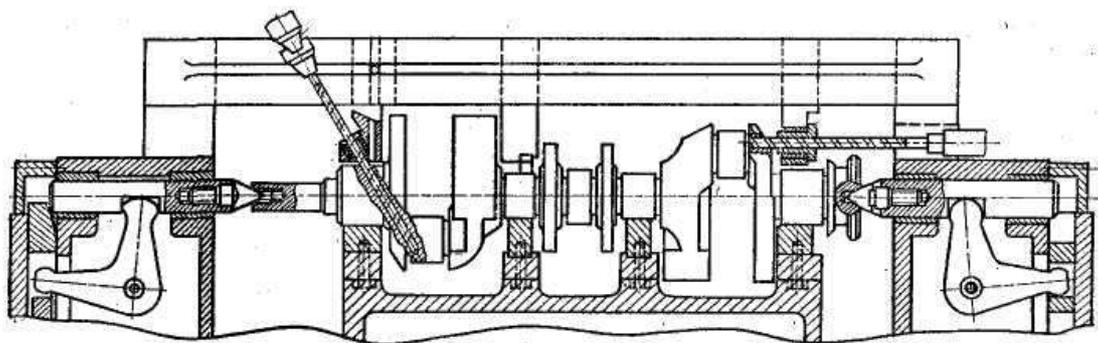


Рис. 6.85. Приспособление для сверления маслопроводных каналов

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 отверстия сверлятся, на втором – нарезается резьба под заглушки.

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

Коленчатые валы неоднократно проверяют в процессе их изготовления после наиболее ответственных операций. При окончательном контроле обычно проверяют:

- 1) диаметр 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 во фланце и его биение относительно торца фланца или задней коренной шейки;
- 9) шейку под маховик.

В заключение осматривают наружную поверхность с целью обнаружения на шейках царапин, трещин, заусенцев и т.д.

В массовом производстве широко используются специальные приспособления для комплексного контроля коленчатых валов одновременно по нескольким проверяемым параметрам (рис. 6.86).

Для измерения диаметров шеек применяют скобы с микроиндикаторами, индикаторные приспособления или пневматические скобы.

6.7. Изготовление цилиндрических зубчатых колес

Основными факторами, влияющими на технологию механической обработки зубчатых колес, являются следующие:

1. Форма колеса. Влияет на выбор оборудования, на построение технологического процесса обработки заготовок под нарезание зуба, на выбор технологических баз.

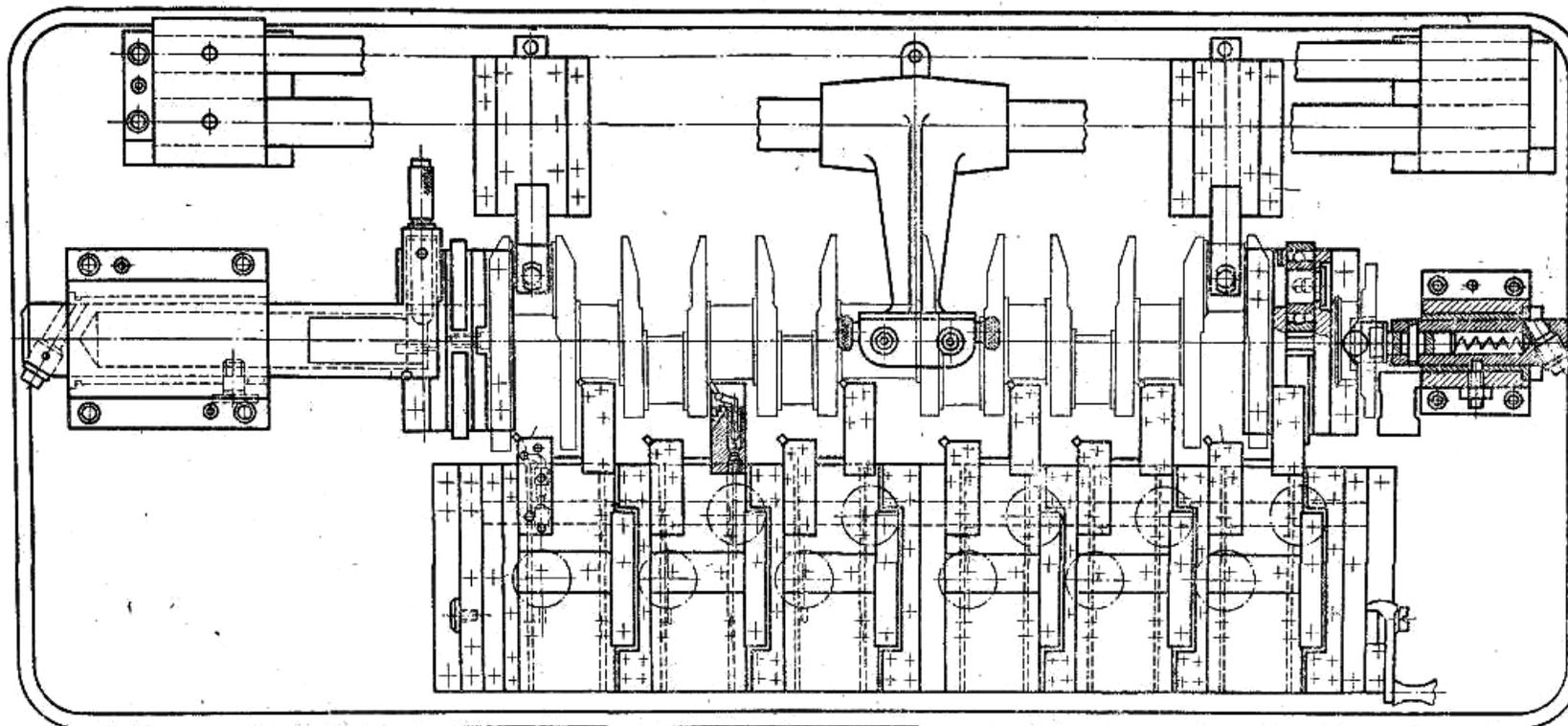


Рис. 6.86. Приспособления для комплексного контроля коленчатого вала
(для проверки линейных размеров вала, радиусов кривошипов и других элементов)

2. Форма и расположение зубчатого венца. Влияют на выбор методов зубообработки и установление технологических баз на этих операциях.

3. Количество зубчатых венцов, их взаимное расположение. Определяют варианты и трудоемкость зубообработки, выбор зуборезного оборудования и инструмента.

4. Форма зубьев колеса. Влияет на выбор режущего инструмента, определяет наладку зубообрабатывающих станков.

5. Материал колеса и характер его термической обработки. В значительной степени определяют весь технологический процесс изготовления колеса.

6. Точность зубчатого венца. Влияет на выбор методов отделки зубьев. При изготовлении прецизионных колес в целом определяет длительность и трудоемкость механической и термической обработки колеса.

7. Модуль и габаритные размеры колеса. Влияют на выбор методов обработки, выбор оборудования, технологических баз, на степень дифференциации операций обработки.

8. Тип производства. Влияет на выбор оборудования, на техническое оснащение операций.

Конструкция колес непосредственно связана с их служебным назначением.

На рис. 6.87 показаны основные типы зубчатых колес, применяемых в зависимости от служебного назначения в производстве машин среднего размера – автомобилей, тракторов, станков.

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготавливают из углеродистых, легированных сталей, чугуна, пластических масс.

Легированные стали обеспечивают более глубокую прокаливаемость и меньшую деформацию по сравнению с углеродистыми сталями.

В горном машиностроении распространены цилиндрические зубчатые колеса диаметром до 6000 мм с модулем 10...30 мм. Точность этих колес в большинстве случаев соответствует 6 – 8 степени (ГОСТ 1643-81).

В таких машинах, как экскаваторы, шахтные подъемники, применяют зубчатые колеса диаметром до 10 000 мм с модулем до 60 мм более низкой точности (9 – 11 степень). Однако в приводах вращающихся цементных печей и рудоразмольных мельниц, где окружные скорости колес достигают 6 – 8 м/с, с целью снижения динамических нагрузок и улучшения рабочих характеристик требования к точности возрастают до 7 степени.

Высокие рабочие скорости, большие колебания значительных нагрузок зубчатых зацеплений горного оборудования предъявляют высокие требования к материалу и термообработке зубчатых колес. В основном ис-

пользуются высоколегированные среднеуглеродистые стали, позволяющие после цементации и заковки получать сочетание высокой твердости поверхностного слоя (56-62 HRC) с достаточно твердостью сердцевины (35-40, 45 HRC): 25XГТ, 25X27НТА, 20X2Н4А, 35ХН1М, 35ХМЛ, 38ХГСА.

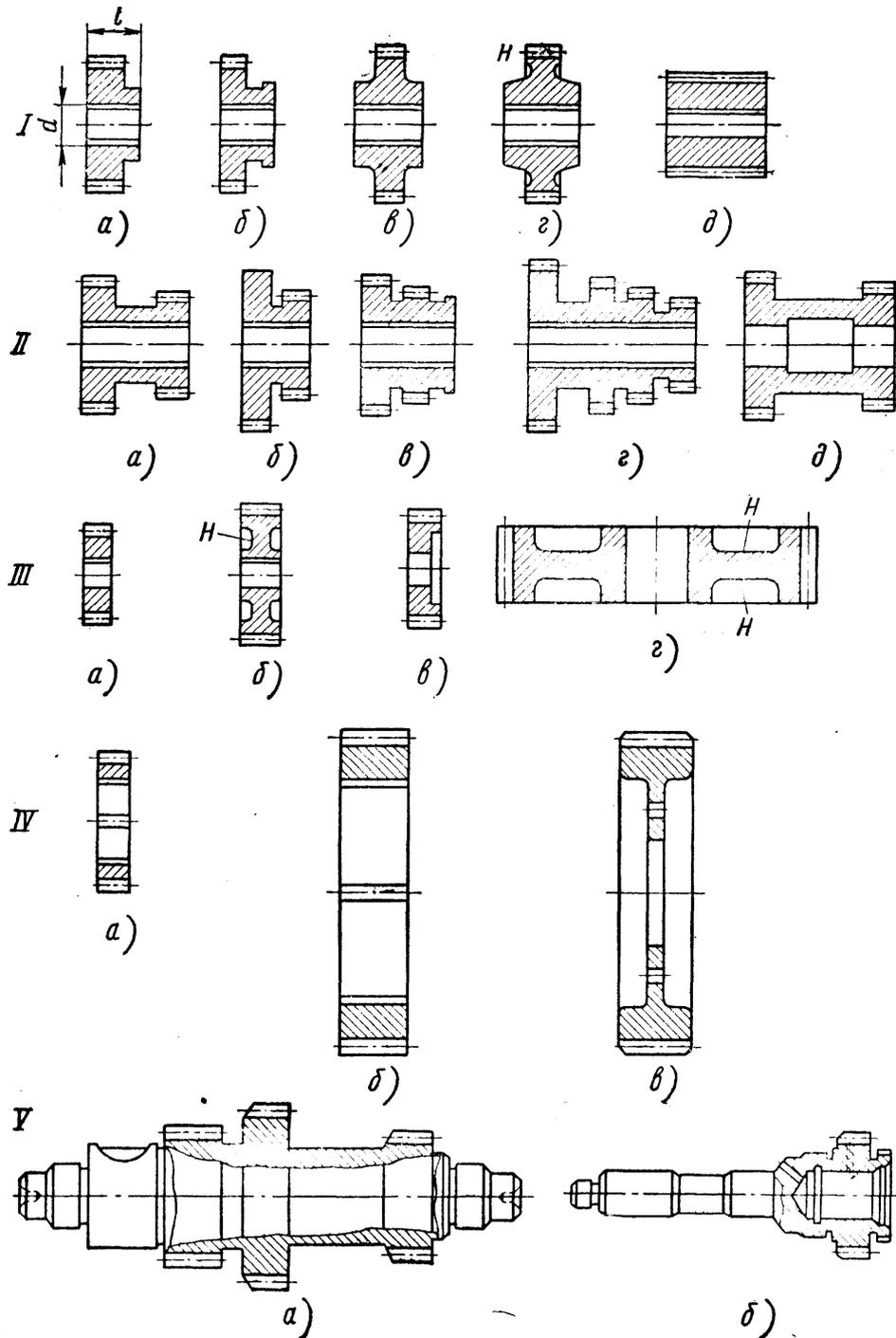


Рис. 6.87. Формы цилиндрических зубчатых колес:
 I – одновенцовые; II – многовенцовые; III – одновенцовые плоские с посадочным отверстием малой длины; IV – зубчатые венцы;
 а, б – с односторонней ступицей; в, г – с двухсторонней ступицей; д – плоское

Заготовки в единичном и мелкосерийном производстве получают отрезкой из проката и свободной ковкой, в серийном производстве – свободной ковкой и штамповкой в подкладных штампах.

В крупносерийном и массовом производстве заготовки для шестерен штампуют в закрытых штампах на штамповочных молотах и прессах и на горизонтально – ковочных машинах (рис. 6.88).

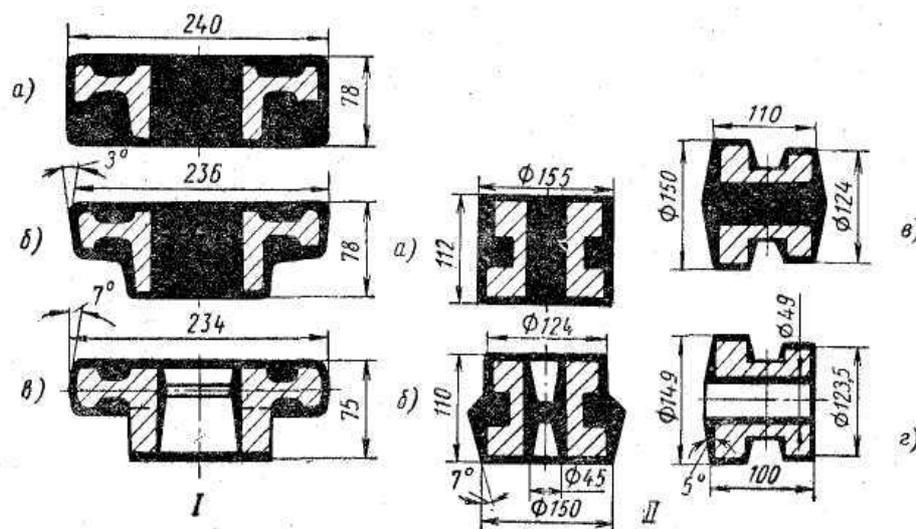


Рис. 6.88. Способы изготовления заготовок:

I – одновенцовых колес: *a* – поковка; *б* – штамповка в подкладном штампе; *в* – штамповка в закрепленном штампе;

II – двухвенцовых колес: *a* – поковка; *б* – штамповка на молоте в торец; *в* – на молоте вдоль оси; *г* – на горизонтально-ковочной машине

Послековки заготовки проходят нормализацию или улучшение.

Требования к точности зубчатых колес регламентируются стандартами: ГОСТ 1643-81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски», ГОСТ 1758-81 «Передачи зубчатые конические. Допуски», ГОСТ 3675-81 «Передачи червячные. Допуски».

Технологический процесс изготовления зубчатого колеса можно разделить на четыре этапа:

- черновая и чистовая обработка заготовки;
- нарезание зубчатого венца;
- термическая обработка;
- отделка зубчатого венца и основных конструкторских баз.

Каждый последующий этап следует отделять от предыдущего операцией промежуточного контроля для своевременного выявления брака.

Технологический маршрут изготовления зубчатого колеса очистного редуктора комбайна РКУ 10 (рис. 6.89) представлен в табл. 6.11.

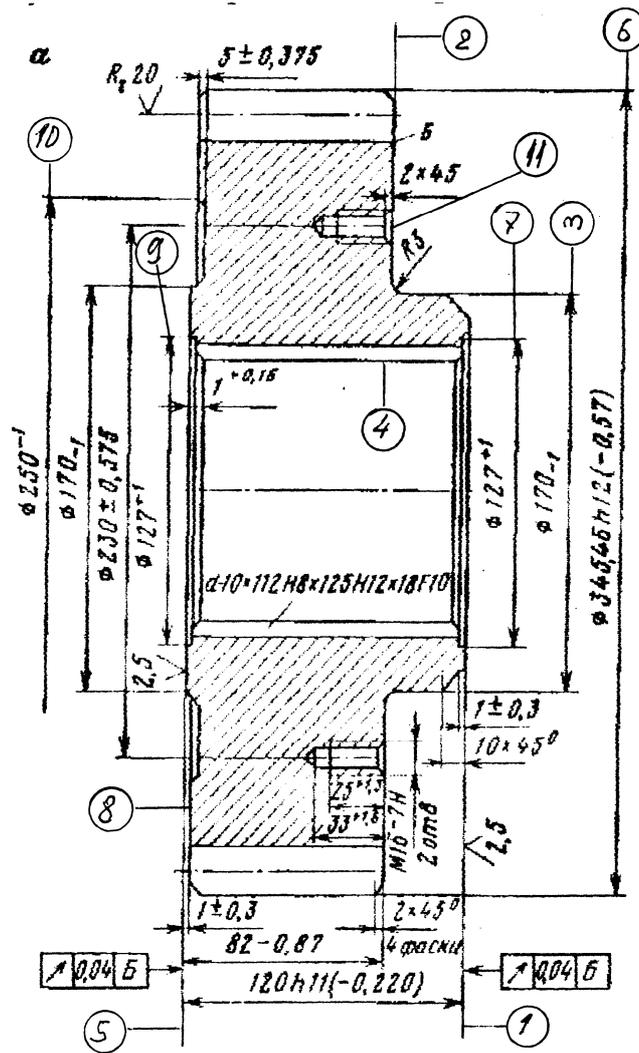


Рис. 6.89. Зубчатое колесо редуктора очистного комбайна РКУ10
 ($m = 10$, $z = 32$, сталь марки 20X2H4A, степень точности – 8);
 производство – мелкосерийное

Термообработка после черновой обработки заготовки выравнивает внутренние напряжения в детали, стабилизирует структуру (высоколегированные хромом и никелем стали имеют склонность к остаточному аустениту), улучшает обрабатываемость.

Чистовая обработка строится так, чтобы обработка основных технологических баз (отверстие 4, торцы 5 и 8, поверхность 6) проводилась с одной установки – наиболее простой способ получения высокой точности расположения базовых поверхностей.

Обработка зубьев крупных колес делится на черновые операции, в процессе которых удаляется основная масса металла из впадин зубчатого венца, чистовые, когда окончательно формируется профиль зуба, и отделочные, обеспечивающие требуемую точность зацепления. Такие способы

обработки, как зубофрезерование, зубодолбление, зубострогание, используют и для черновых, и для чистовых операций. В качестве отделочных операций применяют притирку, шевингование и шлифование.

Наиболее универсальным и распространенным способом обработки является зубофрезерование методом обкатки червячными фрезами, которое применяют для нарезания зубьев колес диаметром до 6000 мм модулем до 36 мм 3 – 7 степени точности.

Обработку производят на зубофрезерных станках различной точности и компоновок. Для обработки насадных зубчатых колес или зубчатых венцов применяют вертикальные станки (рис. 6.90), а для валов-шестерен – горизонтальные (рис. 6.91).

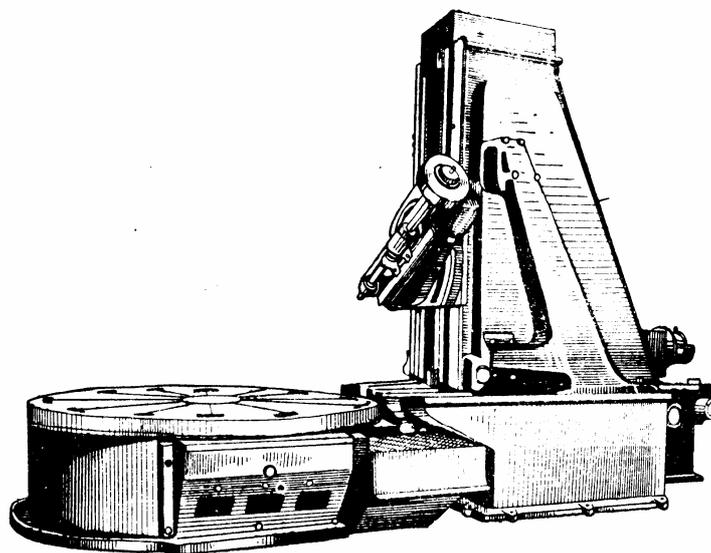


Рис. 6.90. Вертикальный зубофрезерный станок с подающей стойкой без поддерживающей колонны

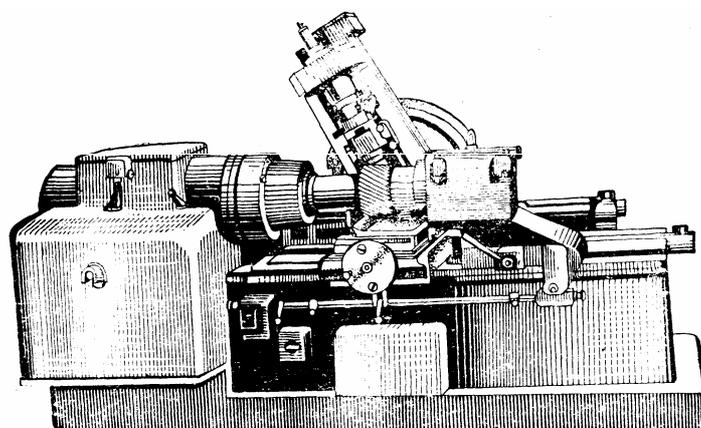


Рис. 6.91. Горизонтальный зубофрезерный станок без люнетов

Технологический маршрут обработки цилиндрической шестерни

Операция	Технологические базы	Оборудование
Оп. 05 Токарная Установить деталь; подрезать торец 1; подрезать торец 2 с образованием ступицы 3; снять фаску 10×45 ⁰ ; сверлить отв. 4; рассверлить отв. 4; расточить отв. 4 начерно; снять фаски; переустановить деталь; подрезать торец 5; обточить поверхность 6; снять фаски	Торец 5, поверхность 6 Торец 2, поверхность 3	Токарно-винторезный
Оп. 10 Термическая Нормализация		Печь
Оп. 15 Токарная Установить деталь; подрезать торец 1 с припуском под шлифовку; подрезать торец 2 начисто; проточить ступицу 3 начисто; расточить выточку 7; переустановить деталь; подрезать торец 8; расточить выточку 9; расточить выточку 10; подрезать торец 5 с припуском под шлифовку; расточить отв. 4 с припуском под шлифовку; обточить пов. 6 начисто	Торец 5, поверхность 6 Торец 2, поверхность 3	Токарно-винторезный
Оп. 20 Контрольная		Плита контрольная
Оп. 25 Зуборезная Нарезать зуб предварительно	Торец 8, поверхность 6	Зубофрезерный
Оп. 30 Зуборезная Нарезать зуб окончательно	Торец 8, поверхность 6	Зубофрезерный
Оп. 35 Контрольная		Плита контрольная
Оп. 40 Слесарная Разметить шлицы и отверстия 11		Плита контрольная
Оп. 45 Долбежная Долбить шлицы	Торец 5, поверхность 6	Долбежный
Оп. 50 Слесарная. Сверлить отв. 11; нарезать резьбу	Торец 5	Радиально-сверлильный
Оп. 55 Слесарная Зачистить заусенцы на шлицах и зубьях; резьбу от цементации предохранить		Плита контрольная
Оп. 60 Контрольная		Плита контрольная
Оп. 65 Термическая. Цементация		Печь цементационная

Оп. 70 Термическая Закалка; высокий отпуск; низкий отпуск		Печь Ванна
Оп. 75 Контрольная По свидетелю проверить глубину цементации, твердость поверхности и сердцевины		Лабораторное оборудование
Оп. 80 Шлифовальная Шлифовать отв. 4 и торец 5	Делительный диаметр зубчатого венца	Внутришлифовальный
Оп. 85 Шлифовальная Шлифовать торец 1	Торец 5	Плоскошлифовальный
Оп. 90. Шлифовальная Шлифовать профиль зуба	Торец 5, поверхность 4	Зубошлифовальный
Оп. 95 Моечная		Машина моечная
Оп. 100 Контрольная Контроль окончательный		Плита контрольная

Черновая обработка выполняется дисковыми или пальцевыми модульными фрезами по методу копирования на станках, имеющих механизм единичного деления или многозаходными червячными фрезами по методу обката, чистовая – однозаходными червячными фрезами.

Силовая напряженность процесса зубофрезерования достаточно высокая, поэтому от метода совмещения баз (технологических с конструкторскими) на данных операциях приходится отказываться. Деталь базируют на торец зубчатого венца и в осевом направлении выверяют по наружной поверхности венца, обеспечивая их правильное положение относительно основных конструкторских баз чистовой токарной обработкой.

Зубчатые колеса диаметром до 1800 мм и модулем до 40 мм, напрессовываемые на вал, можно нарезать на горизонтальных зубофрезерных станках после напрессовки, исключив из техпроцесса операции шлифования базового отверстия и базовых торцов.

Фрезерование зубчатого венца червячной модульной фрезой обеспечивает 7 – 8 степень точности. В процессе термообработки температурные деформации снижают точность на одну – две степени

Это приводит к необходимости отделочных операций.

Для отделки зубчатого венца термообработанных колес используют шлифование и притирку. Перед отделкой профиля зубьев проводится окончательная обработка базового отверстия и торца. Прямозубые шестерни устанавливаются в мембранном патроне роликовым сепаратором, косо-

зубы – шариковым (рис. 6.92). Диаметры шариков подбираются так, чтобы обеспечить их контакт с профилем зуба по делительной окружности.

Для отделочной обработки зубчатых колес модулем более 10 мм используют шлифование тарельчатыми кругами по методу обката с делением (рис. 6.93).

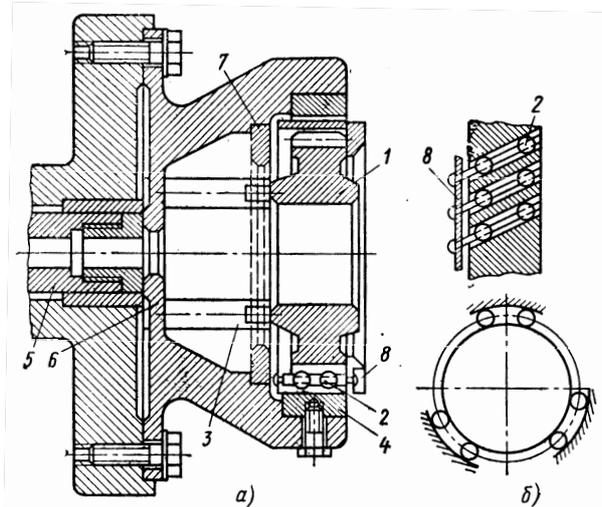


Рис. 6.92. Мембранный патрон (а) с шариковым сепаратором (б)

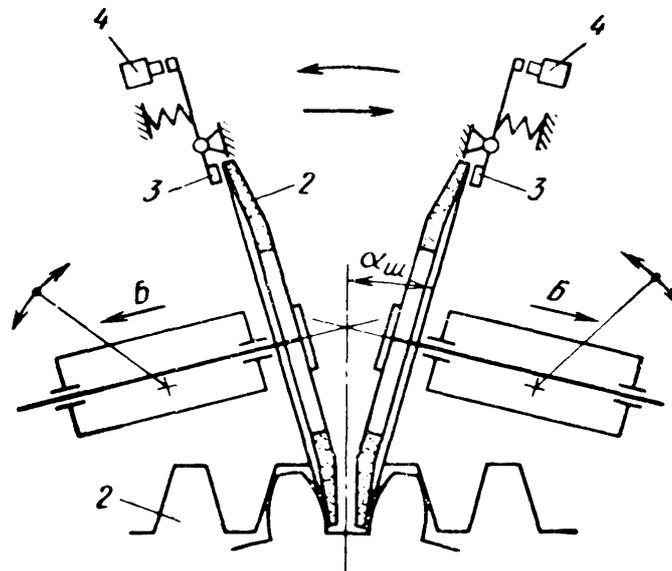


Рис. 6.93. Шлифование тарельчатыми кругами

Точечный контакт круга с деталью обеспечивает минимальные прижоги поверхности зуба, простота формы (правка круга по прямой) – высокую точность обработки. Станки имеют устройства компенсации износа круга. Возможна обработка косозубых шестерен.

В инструментальном производстве используются зубошлифовальные станки, работающие плоскими кругами 5891, 5892А, 5893, 5892, 5А893 (рис. 6.94, 6.95). Станки позволяют получать 4 – 5 степень точности, конический, корсетный и бочкообразный зуб.

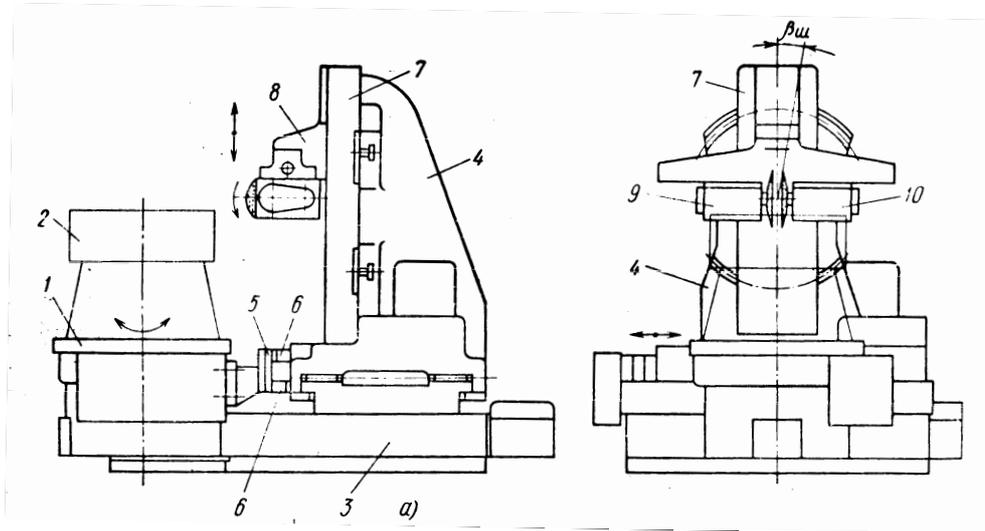


Рис. 6.94. Зубошлифовальный станок для обработки крупномодульных колес:

1 – планшайба; 2 – заготовка; 3 – плита поворотная; 4 – шлифовальная стойка; 5 – обкатной сектор; 6 – стальные ленты механизма обката; 7 – поворотная часть шлифовальной стойки (шлифование косозубых колес); 8 – ползун (вертикальная подача); 9, 10 – шлифовальные бабки

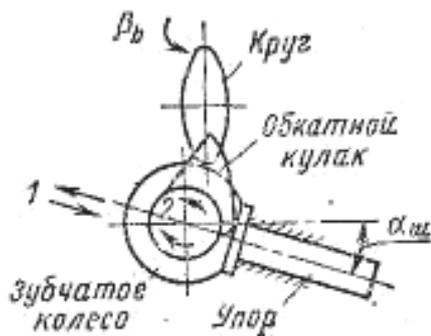


Рис. 6.95. Принцип действия станка 5893

В массовом производстве – на горизонтальных многошпиндельных автоматах (мелкие шестерни), токарно-револьверных станках с крестообразным суппортом (шестерни средних габаритов), вертикальных токарных полуавтоматах (рис. 6.96, 6.97).

Нарезание зубчатого венца в серийном и массовом производстве выполняется на зубофрезерных и обработке шестерен модулем

менее 2 мм. Возможна обработка на зубодолбежных станках. Зубодолбежные более производительны. При нарезании червячными фрезами на выходе фрезы образуется заусенец. Для его удаления используют специальные приспособления на станке или вне станка (рис. 6.98, 6.99). Для облегчения переключения передач на торцах зубьев выполняют закругления (на

спецстанках). Закругление пальцевой фрезой – наименее производительно. Станки легко переналаживаются, позволяют закруглять наружные и внутренние венцы, используют простой дешевый инструмент (рис. 6.100, 6.101). Основные методы отделки профиля зуба в серийном и массовом производстве – шлифование и шевингование.

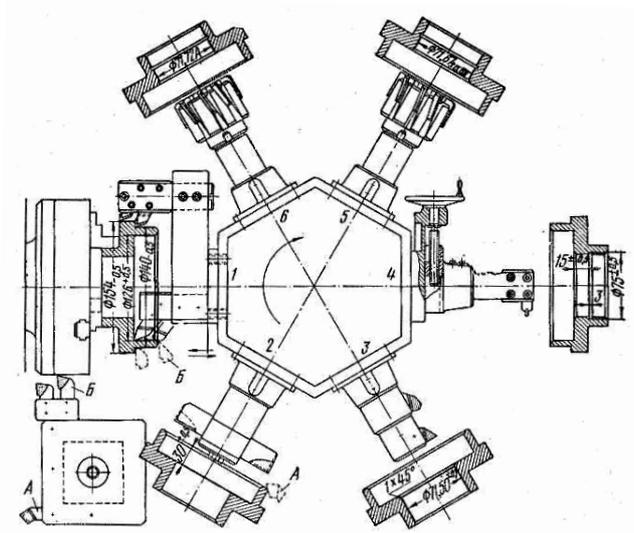


Рис. 6.96. Схема обработки заготовки на токарно-револьверном станке

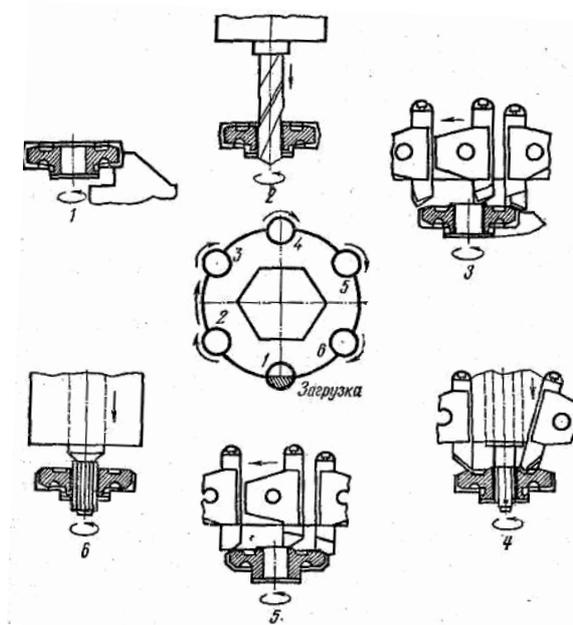


Рис. 6.97. Схема обработки на вертикальном токарном автомате

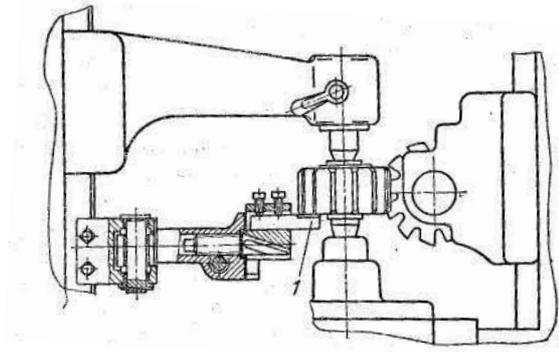


Рис. 6.98. Удаление заусенцев в процессе нарезания венца

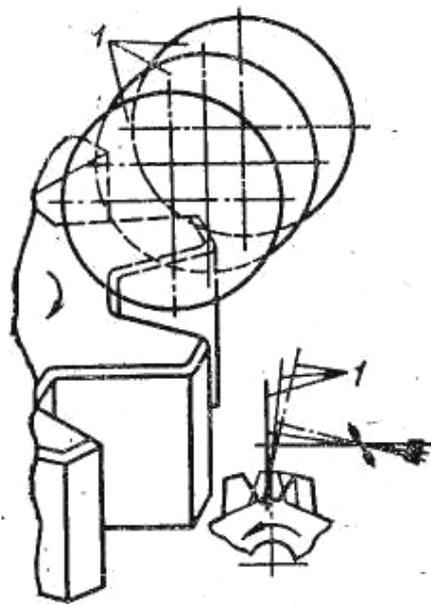


Рис. 6.99. Удаление заусенца с обработкой фасок дисковым кругом

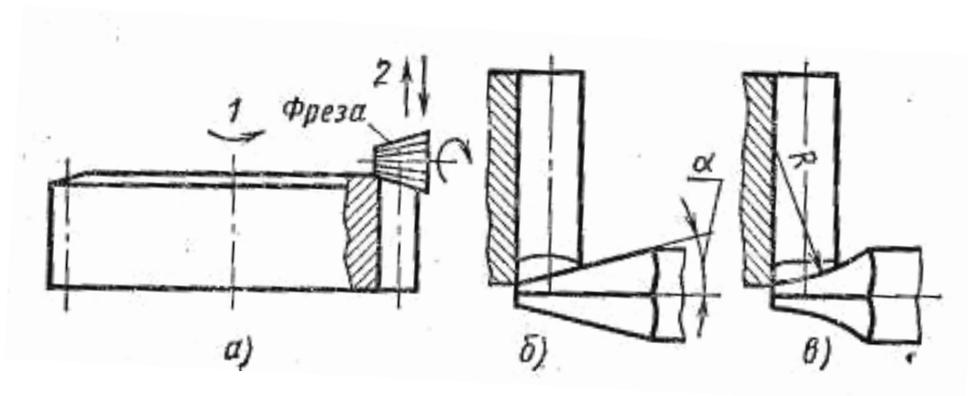


Рис.6.100. Закругление зубьев пальцевой фрезой:
a – кинематика процесса; *б* – обработка конусной фрезой;
в – обработка фасонной фрезой

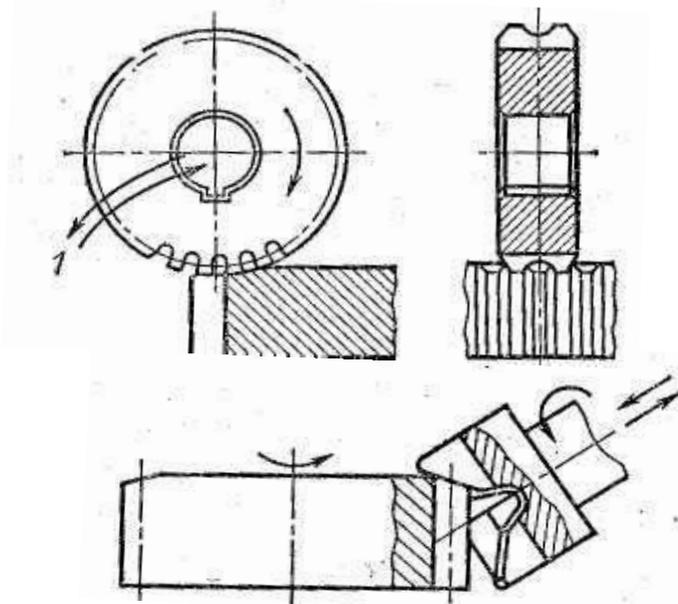


Рис. 6.101. Закругление зубьев дисковой и конусной фрезой

При контроле зубчатых колес проверяют:

а) биение базового торца (до нарезания зубьев) – с помощью индикатора и центровой оправки;

б) отклонение основного шага – шагомером по разности действительного и номинального расстояний между параллельными касательными к двум соседним одноименным профилям зубьев (рис. 6.102, а); жесткий упор 1 и подвижной упор 2 имеют две параллельные плоскости, которые воспроизводят обкат колеса с рейкой. Цена деления индикатора 5 мкм. В лабораториях основной шаг может быть проверен также на стационарных приборах;

в) разность окружных шагов – с помощью прибора по разности расстояний между любыми окружными шагами по одной окружности колеса (рис. 6.102, б), в приборе упор 1 жесткий, 2 – подвижный и связан с индикатором 3;

г) накопленную погрешность окружного шага – измерением окружных шагов последовательно по всем зубьям и дальнейшим подсчетам по известным формулам в справочниках;

д) погрешность профиля – сравнением действительного профиля по эвольвентомеру с теоретической эвольвентой;

е) толщину зуба колес – кромочным штангензубомером (рис. 6.102, в);

ж) смещение исходного контура – тангенциальным зубомером как радиальное положение исходного контура относительно окружности выступов (рис. 6.102, г);

з) радиальное биение зубчатого венца – на приборе измерением отклонения показаний индикатора 1 по ролику 2, вставляемому до впадины зубьев (рис. 6.102, д).

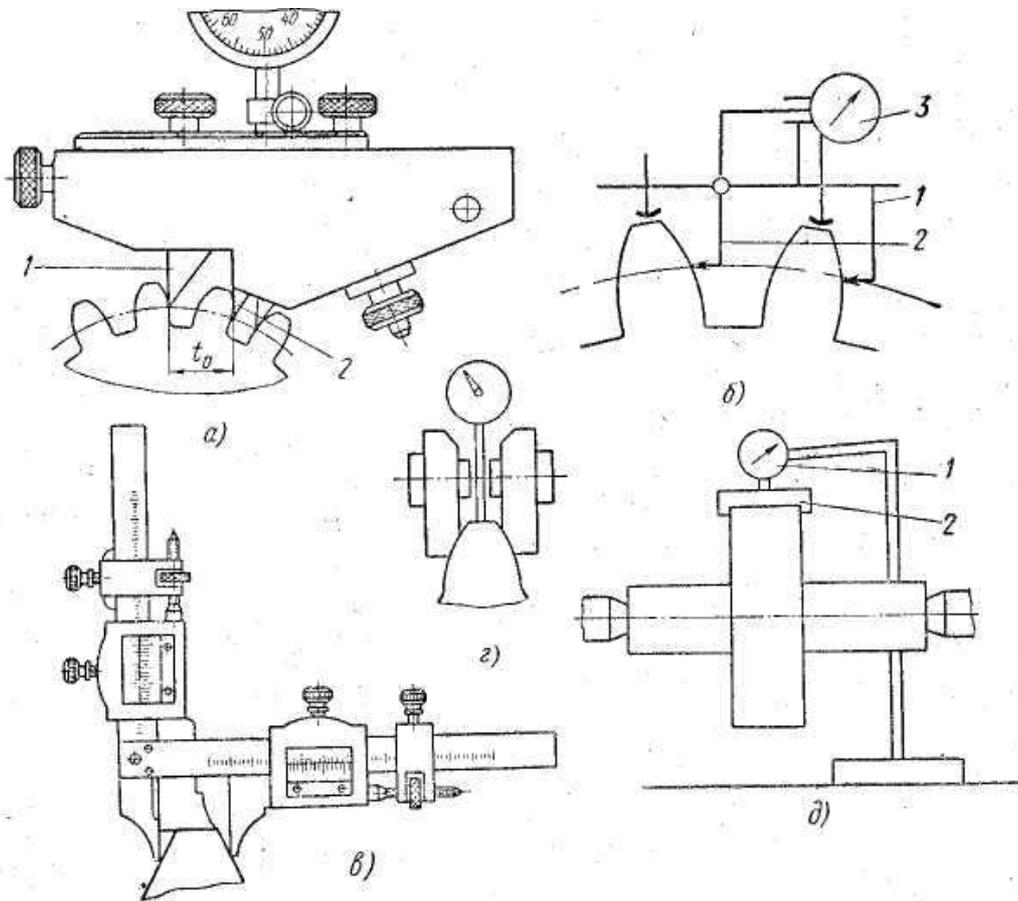


Рис. 6.102. Способы контроля элементов зубчатого зацепления:
a – отклонения основного шага (шагомером); *б* – разности шагов; *в* – толщины зуба по хорде делительной окружности; *г* – смещения исходного контура (тангенциальным зубомером); *д* – радиального биения зубчатого венца

Длину общей нормали проверяют индикаторной или жесткой плоскопараллельной скобой.

В цеховых условиях крупносерийного и массового производства пользуются в основном прибором для комплексной проверки колебаний межцентрового расстояния в плотном зацеплении с эталонным зубчатым колесом (двухпрофильная проверка).

6.8. Изготовление конических зубчатых колес

Конические зубчатые колеса служат для передачи вращательного движения между валами с пересекающимися и скрещивающимися осями. Могут иметь прямые, косые и криволинейные зубья.

Материал и способы получения заготовки – такие же, как и для колес цилиндрических.

По конструктивным признакам конические колеса можно разделить на три основных типа: насадные зубчатые колеса со ступицей, дисковые плоские насадные колеса и вал – шестерни (рис. 6.103).

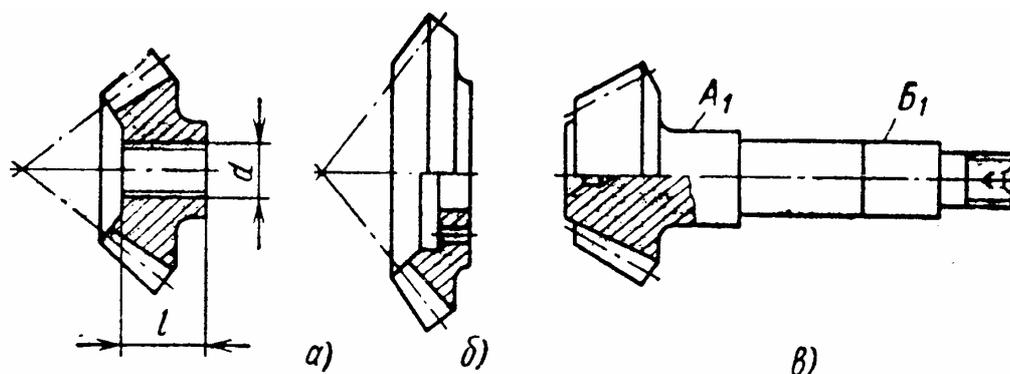


Рис. 6.103. Конструкции конических зубчатых колес

Анализируя конструкцию конических колес на технологичность, следует обращать внимание на достаточную жесткость конструкции и наличие надежных технологических и контрольных баз:

- толщина тела венца под впадинами не должна быть меньше полной высоты зуба, толщина диска плоского ведомого колеса – не менее $0,1d$ (посадочный диаметр);

- у конических колес с круговыми зубьями и прямозубых, нарезаемых зубофрезерованием, тело колеса или его ступицы не должно выступать за пределы конуса впадин зубчатого венца;

- центрирование зубчатых колес по шлицевому отверстию допустимо только для передач небольшой точности;

- конструкция колес 7 степени точности и выше должна предусматривать возможность шлифования с одной установки центрирующей поверхности, опорного торца и контрольных поясков;

- все поверхности колес, работающих с окружной скоростью выше 3м/с , должны быть обработаны – для уменьшения дисбаланса;

- в конструкции колес типа вал-шестерня 5 – 6 степени точности необходимо предусмотреть шлифование или притирку центровых отверстий, служащих в дальнейшем базой для контроля точности.

Технологический маршрут обработки вала-шестерни конической (рис. 6.104) представлен в табл. 6.12.

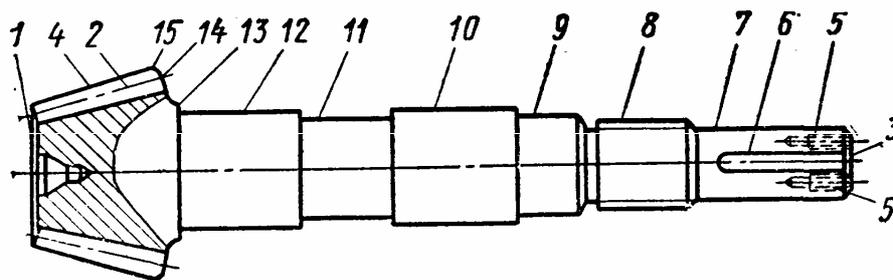


Рис. 6.104. Вал-шестерня коническая:
 зуб – криволинейный; модуль – более 10; степень точности – 9; материал – 20Х2Н4А; термообработка – цементация 1,8 – 2,2 с последующей закалкой HRC 58-62; производство – мелкосерийное

Таблица 6.12

Технологический маршрут обработки конической вал-шестерни

Операция	Технологические базы	Оборудование
Оп. 05 Токарная. Установить деталь; подрезать торец 3; центровать торец 3; переустановить деталь; подрезать торец 1; центровать торец 1	Поверхность 7 и 15 Поверхность 7 и 15	Токарно-винторезный
Оп. 10 Токарная Установить деталь; обточить пов. 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 с припуском под чистовое обтачивание; переустановить деталь; обточить пов. 4 и 15 с припуском под чистовое обтачивание	Центра Центра	Токарно-винторезный
Оп. 15 Термическая Нормализация		Печь
Оп. 20 Токарная Установить деталь; обточить пов. 8, 9, 11, 14, фаски и радиусы в окончательный размер, пов. 7, 10, 12, 13 с припуском под шлифование; нарезать резьбу 8; переустановить деталь; обточить пов. 4 и 15 в окончательный размер	Центра Центра	Токарно-винторезный
Оп. 25 Слесарная Разметить шпоночный паз 8 и центра отверстий 5		Плита контрольная
Оп. 30 Фрезерная Фрезеровать шпоночный паз 6	Поверхность 7 и 12	Вертикально-фрезерный
Оп. 35 Сверлильная Сверлить 2 отв. под резьбу; нарезать резьбу	Поверхность 10 и 12	Радиально-сверлильный

Оп. 40 Слесарная Зачистить заусенцы, острые кромки притупить		Верстак слесарный
Оп.45 Контрольная		Плита контрольная
Оп. 50 Зуборезная Нарезать зуб двухсторонней резцовой головкой односторонним методом с поворотом заготовки: а) начерно; б) начисто одну сторону зуба; в) начисто вторую сторону зуба	Пов. 10, 12, 13	Зуборезный
Оп. 55 Слесарная Зачистить заусенцы, острые кромки притупить		Верстак слесарный
Оп. 60.Контрольная Проверить зубчатый венец		Контрольно-обкатной
Оп. 65 Термическая Цементация		Печь цементационная
Оп. 70 Термическая Закалка; высокий отпуск; низкий отпуск		Печь Ванна
Оп. 75 Контрольная По свидетелю проверить глубину цементации, твердость поверхности и сердцевины		Лабораторное
Оп. 80 Сверлильная Зачистить центровые отверстия		Вертикально-сверлильный
Оп. 85 Шлифовальная Шлифовать пов. 7, 10, 12, 13 в размер	Центра	Кругло-шлифовальный
Оп. 90 Моечная		Машина моечная
Оп. 95 Контрольная Контроль окончательный Подбор пары на контрольно-обкатном станке или спаривание всборе		Плита контрольная Контрольно-обкатной

Черновое нарезание зуба более производительно при использовании метода копирования с единичным делением. Прорезав впадины начерно, поворачивают заготовку на угол γ , обеспечивающий односторонний припуск на обработку одной стороны зуба, обрабатывают по методу обката все зубья по выпуклой стороне, не меняя наладки станка поворачивают заготовку на угол 2γ в другую сторону и обрабатывают вогнутые стороны всех зубьев. Метод обеспечивает получение 8 степени точности нарезанного венца.

Дальнейшая термообработка снизит точность, но не настолько, чтобы для получения 9 степени потребовалась отделка зуба.

Окончательный контроль зубчатого венца может проводиться по комплексному показателю, установленному для данной нормы точности с помощью универсальных контрольно-измерительных устройств или контрольно-обкатных станков, а также по регламентированным стандартами комплексам элементарных показателей с помощью универсального мерительного инструмента.

В крупносерийном и массовом производстве обработка заготовок шестерен под нарезание зуба выполняется на токарных автоматах и полуавтоматах. Черновое нарезание зубчатого венца цилиндрических колес делается по методу копирования дисковыми модульными фрезами с использованием двухпозиционных многоместных приспособлений или заменяется накатыванием профиля (рис. 6.105). Конические прямозубые колеса нарезаются начерно дисковыми модульными фрезами или круговой протяжкой. Для чистового нарезания используют зубострогальные станки. Конические колеса с криволинейным зубом нарезают начерно по методу копирования трехсторонней резцовой головкой, начисто – по методу обката односторонней головкой в две операции.

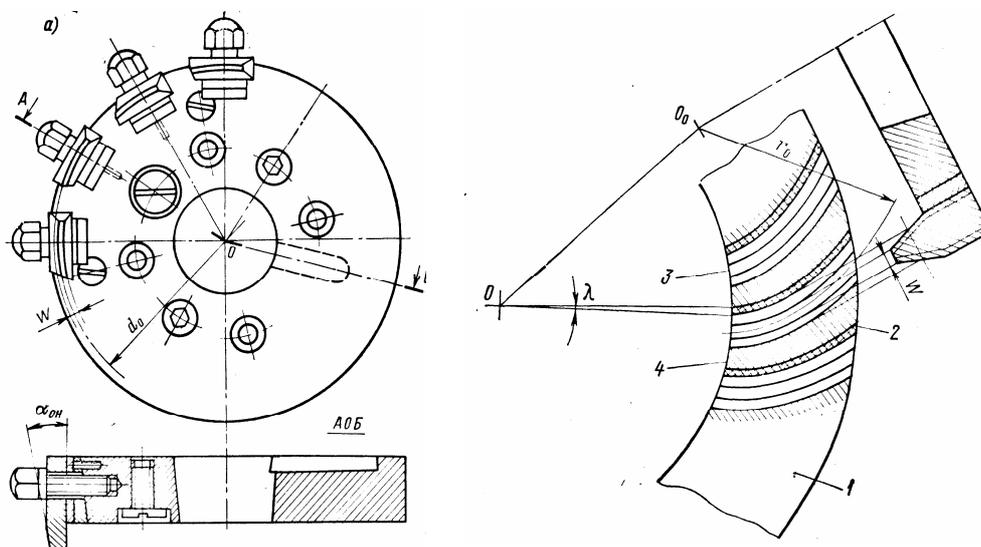


Рис. 6.105. Двухсторонняя резцовая головка и схема поворотного одностороннего метода нарезания зубьев конического зубчатого колеса:

1 – коническое зубчатое колесо; 2 – припуск, снимаемый при обработке выпуклой стороны после поворота зубчатого колеса на угол γ ; 3 – впадина; 4 – зуб

Отделка зубчатого венца – прикатыванием, притиркой или зубохонингованием.

Контроль конических зубчатых колес проверяют в большинстве случаев на тех же приборах, что и цилиндрические.

Отклонения окружного шага и накопленную погрешность окружного шага проверяют на универсальном зубоизмерительном приборе с угловым лимбом, отклонения окружного шага измеряют также с помощью шагомера. Радиальное биение зубчатого венца проверяют с помощью конического ролика и индикатора на приборе для проверки конических и цилиндрических зубчатых колес. Толщину зуба контролируют при помощи штангензубомером. Колебания измерительного межосевого угла и колебания бокового зазора в передаче контролируют в двухпрофильном зацеплении с эталонным колесом на приборе для комплексной двухпрофильной проверки или контрольно-обкаточном станке.

Осевое смещение зубчатого венца, отклонения относительных размеров суммарного пятна контакта и уровень звукового давления также проверяют на контрольно-обкаточных станках.

Окончательный контроль зубчатого венца – по комплексным показателям соответствующей нормы точности (кинематической, плавности, пятна контакта) на универсальных контрольно-измерительных устройствах или контрольно-обкатных станках.

6.9. Изготовление червячных пар

По форме червяка червячные передачи делятся на цилиндрические и глобоидные (рис. 6.106). По профилю рабочего витка – на архимедовы, эвольвентные, конволютные и передачи с нелинейчатый червяком.

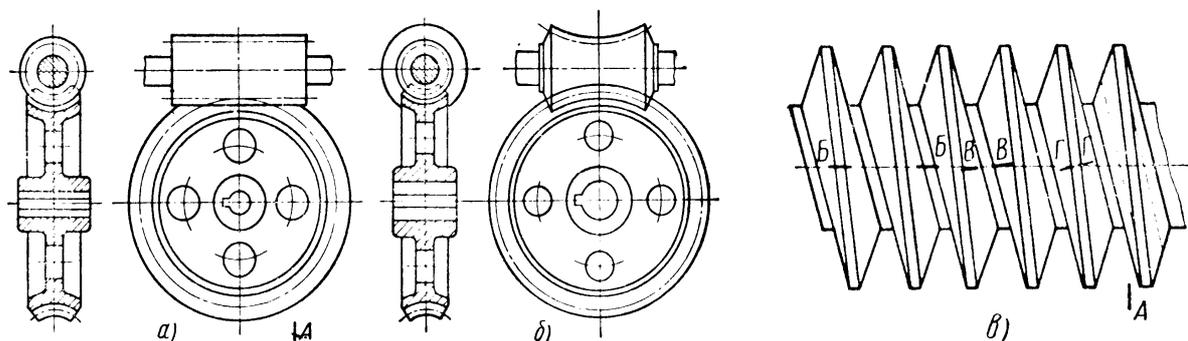


Рис. 6.106. Червячные передачи:

a – цилиндрическая; *б* – глобоидная; *в* – сечения цилиндрических червяков:

AA – поперечное; *BB* – продольное; *BB* – перпендикулярное к направлению впадины; *GG* – перпендикулярное к направлению витка

Архимедов червяк имеет прямолинейный профиль в осевом сечении, поперечное сечение червяка дает спираль Архимеда. У эвольвентного червяка прямолинейный профиль в плоскости, параллельной его оси и касательной к основному цилиндру ($d_{or} = d_{dr} \cos \alpha_s$ где $\alpha_s = \arctg \operatorname{tg} \alpha / \sin \lambda$) – угол зацепления в торцевом сечении, λ – угол подъема винтовой линии на делительном диаметре червяка, d_{dr} – делительный диаметр червяка). Торцевое сечение эвольвентного червяка – эвольвента.

Конволютный червяк имеет прямолинейный профиль в сечении, нормальном витку или впадине между витками. В торцевом сечении – конволюта. Нелинейчатый червяк в любом сечении профиля дает кривую линию.

В быстроходных и высокоточных червячных передачах (3 – 4 степень точности) используют червяки из высоколегированной цементуемой стали (12ХН3А) и колеса из оловянистой бронзы. В тяжело нагруженных скоростных – червяки из сталей, дающих после термообработки высокую твердость поверхностного слоя и повышенную – сердцевины (35ХМЮА, 20Х2Н4А), и колеса из безоловянистой бронзы (АЖ9-4) и серого чугуна.

Кроме формы червяка и его профиля на технологию обработки червячной пары влияют степень точности передачи, размеры червяка и колеса, требования к термической обработке и тип производства.

Технологический процесс обработки червячных пар состоит из следующих этапов:

- обработка заготовок с целью получения требуемых форм, а также основных базовых поверхностей. Нетермообрабатываемые червяки на этом этапе обрабатываются в размеры чертежа;
- повторная – чистовая обработка. Конструкторские базы червяка обрабатывают с припуском под шлифовку;
- черновое и чистовое нарезание профиля червяка. Для термообрабатываемых червяков – с припуском под шлифовку;
- термическая обработка;
- обработка базовых поверхностей;
- окончательная обработка и отделка рабочего профиля.

Основные требования к технологическим базам при обработке червячных пар:

- конструкторские, технологические и контрольные базы должны совпадать или должны быть точно и концентрично расположены между собой (рис. 6.107);
- деталь не должна смещаться или деформироваться в недопустимых пределах под действием сил зажима или усилий резания;

– базирующие поверхности должны быть достаточно развиты и расположены близко к местам возникновения сил резания.

В зависимости от масштабов производства нарезание червяков может выполняться резцами на токарных станках, дисковыми и пальцевыми фрезами на универсально фрезерных станках, обкаточными долбьяками на червячно-долбежных станках, накатыванием на специальных станках.

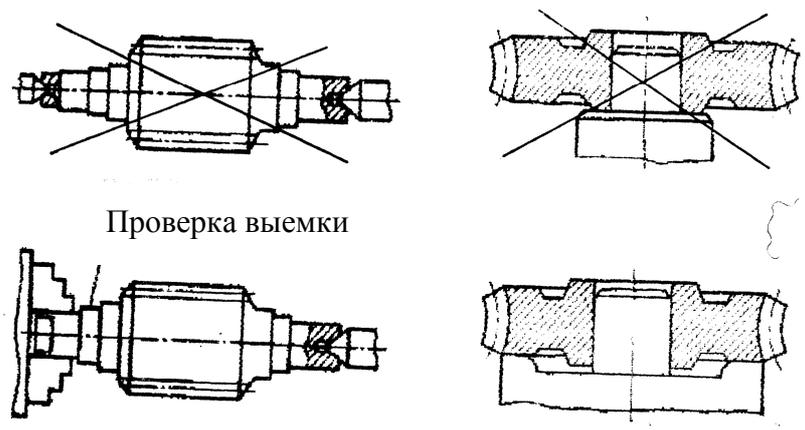


Рис. 6.107. Базирование червяка и червячного колеса при нарезании профиля

Нарезание червяков резцами выполняется на токарных станках, позволяющих нарезать модульную резьбу. Точное получение шага червяка возможно на станках, шаг ходового винта которых кратен числу π . Черновое нарезание следует выполнять резцом, установленным по оси червяка (условия резания наиболее благоприятны). При этом червяки эвольвентные и конволютные нарезаются специальными резцами (для одного червяка) криволинейного профиля. Для получения наименьшей погрешности профиля чистовое нарезание следует производить резцами с прямолинейной режущей кромкой, устанавливая их в соответствии с профилем нарезаемого червяка.

При нарезании архимедовых червяков режущие кромки резца должны лежать в плоскости оси червяка, при нарезании эвольвентного – в плоскости, касательной к основному цилиндру. Конволютные могут иметь прямолинейный профиль в нормальном сечении по впадине или витку. Первые режутся начисто одним резцом, вторые – двумя (рис. 6.108).

Деление на заходы при нарезании многозаходных червяков может выполняться:

- при помощи специального патрона, имеющего делительный диск;
- поворотом сменной шестерни гитары, имеющей число зубьев, кратное числу заходов нарезаемого червяка;
- перемещением суппорта с резцом на величину шага нарезаемого червяка.

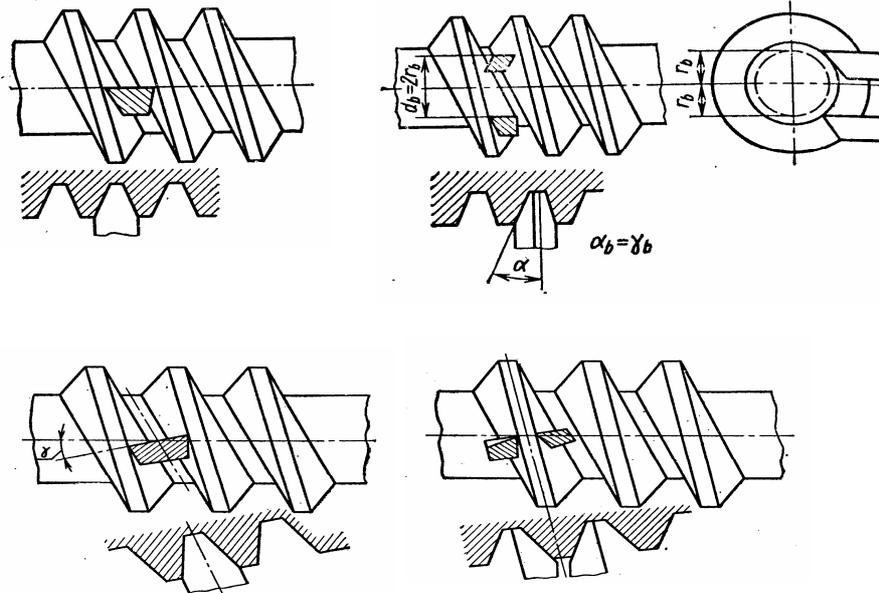


Рис. 6.108. Чистовое нарезание архимедовых, эвольвентных и конволютных червяков

Нарезание пальцевыми и дисковыми фрезами производительнее точения.

Применяется в серийном производстве для окончательного нарезания червяков 9 степени точности и чернового нарезания с припуском под шлифовку 0,1 – 0,2 мм на сторону. Для конволютных червяков профиль фрезы – прямолинейный, для архимедовых и эвольвентных – криволинейный. Фрезы с криволинейным профилем – инструмент специальный, применяются для профилирования одного червяка.

Глобоидные червяки нарезаются на зубофрезерных станках. Червяк устанавливается в инструментальный шпиндель станка, а режущий инструмент – на столе станка.

В мелкосерийном производстве черновое и чистовое нарезание червяка выполняется резцами. Черновое – с радиальной подачей, чистовое – с круговой подачей. Припуск под чистовое нарезание 0,3 – 0,5 мм на сторону, скорость резания 1,0 – 1,5 м/мин. Чистота поверхности 7 – 8 классы (рис. 6.109).

В серийном и массовом производстве черновое нарезание может выполняться пальцевой фрезой, устанавливаемой в специальном приспособлении на столе станка или многолезцовый головкой. Чистовое нарезание – многолезцовый головкой на специальных станках (мод. СТ-1272) с укороченной кинематической цепью.

Для окончательной обработки и отделки профиля червяка применяют шлифование, притирку и полирование.

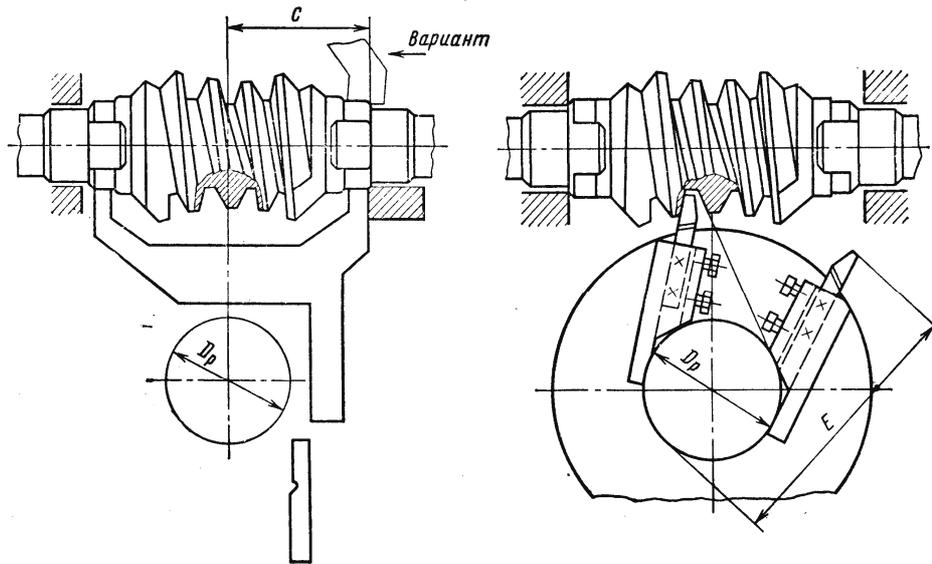


Рис. 6.109. Установка червяка по центру глобоида и нарезание глобоидного червяка резцами

Шлифование архимедовых червяков производится:

- дисковым кругом, развернутым под углом подъема червяка (рис. 6.110);
- чашечным коническим кругом;
- пальцевым кругом.

Последний метод используется для обработки крупномодульных червяков. Эвольвентные червяки шлифуются дисковым или чашечным кругом с соответствующей установкой (рис. 6.111).

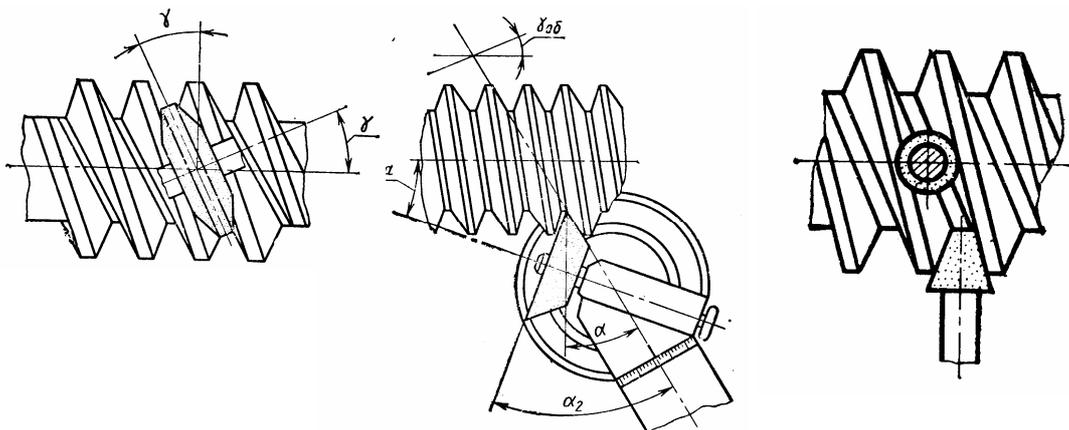


Рис. 6.110. Методы шлифования архимедовых червяков

Шлифование профиля глобоидного червяка представляет большую технологическую трудность. В качестве отделочных операций в единичном и серийном производстве применяют полирование, в крупносерийном и массо-

вом – прикатку. Полирование на 1 – 2 класса улучшает чистоту рабочей поверхности, прикатка исправляет профиль червяка, снижает шероховатость, но может применяться при твердости червяка не выше HRC 35 – 40.

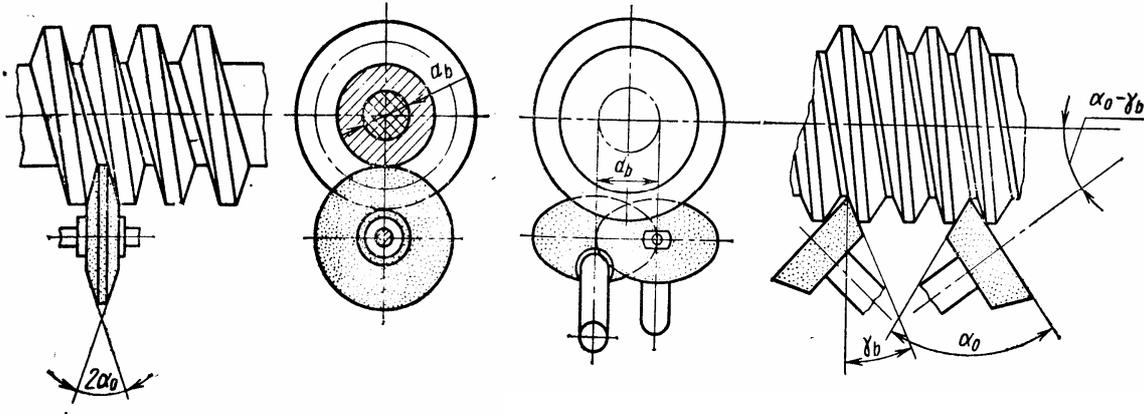


Рис. 6.111. Методы шлифования эвольвентных червяков

Полирование выполняют войлочным червячным колесом, зажатым между стальными шайбами на столе зубофрезерного станка. Червяк устанавливается в инструментальный шпиндель.

В единичном и мелкосерийном производстве червячные колеса нарезаются резцом-летучкой. Резание производится с тангенциальной подачей. При нарезании колес к многозаходным червякам необходимо единичное деление, которое выполняется смещением оправки на шаг, поворотом шпинделя резца при разомкнутой цепи обката на $1/z_1$ (число заходов червяка) или поворотом стола на $1/z_2$ (число зубьев колеса). Последние два способа более точные.

В серийном и массовом производстве червячные колеса нарезаются червячными фрезами, по профилю и другим параметрам подобными червяку. Нарезание производится черновое и чистовое колес до 8-й степени точности с радиальной подачей. Чистовое нарезание более точных колес – с тангенциальной подачей – фреза перемещается в осевом направлении.

Колеса 6-й степени точности и точнее отделяются шевингованием. Под шевингование дается припуск 0,1...0,6 мм на толщину зуба. Шевр шлифуют на том же станке, с той же установкой, что и червяк.

Глобоидные червячные колеса нарезают резцами во всех типах производства. Червячные фрезы для глобоидных колес должны иметь растянутый шаг, что вызывает некоторые сложности при их изготовлении.

6.10. Изготовление ходовых винтов и гаек

Ходовые винты станков служат для преобразования вращательного движения в поступательное прямолинейное перемещение при помощи сопряженной с ним гайки различных деталей и узлов станка (суппортов, кареток, фартуков) с заданной точностью.

Ходовой винт является одним из звеньев многозвенной размерной цепи A , которая обеспечивает точность перемещения суппортов, а следовательно, и точность обрабатываемой на станке детали (рис. 6.112). Как видно из рисунка, в этой размерной цепи ходовой винт вследствие вращения участвует постоянно меняющимся размером A_3 , который представляет собой расстояние от точки соприкосновения с ним гайки до поверхности опорного буртика его опорной шейки. Равномерность изменения этого расстояния, оказывающая нередко решающее влияние на точность обрабатываемой на станке детали, зависит от ряда факторов, определяющих показатели качества ходовых винтов, в т.ч. и от равномерности вращения ходового винта и неизменности его относительного положения на станке во время работы. Такими показателями являются диаметральные размеры винта, точность шага резьбы, точность профиля резьбы, соосность резьбы винта с его опорными шейками, точность опорных шеек, перпендикулярность опорных буртиков оси вращения ходового винта, износоустойчивость, толщина нитки резьбы.

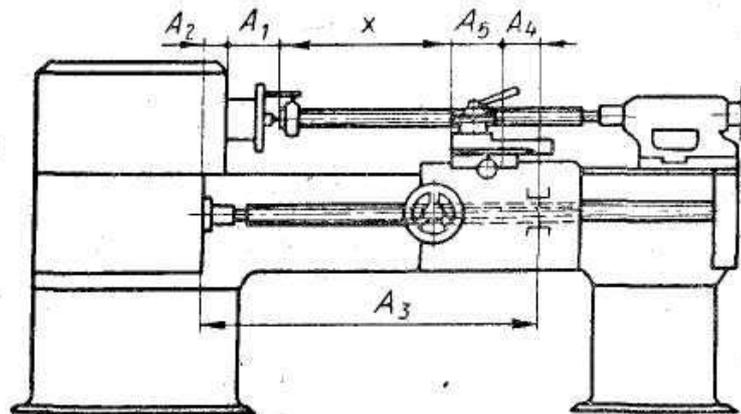


Рис. 6.112. Схемы размерной цепи, в которую одним из звеньев включается ходовой винт

Ходовые винты в зависимости от степени точности перемещения, которую они обеспечивают, делятся на пять классов: 0, 1, 2, 3, 4.

Профиль резьбы ходовых винтов может быть трапецеидальным, прямоугольным и треугольным. Наибольшее применение находят ходовые

винты с трапецидальной резьбой, которая выше по прочности прямоугольной и позволяет при помощи разрезной гайки регулировать осевые зазоры. Кроме того, нарезание и шлифование трапецидальной резьбы значительно проще, чем нарезание и шлифование прямоугольной. Однако ошибки перемещения, обусловленные радиальным биением ходового винта, значительно меньше при прямоугольных резьбах, чем при трапецидальных, поэтому их применяют иногда для особо точных перемещений. Ходовые винты обладают недостаточной жесткостью, т.к. обычно их длина во много раз превосходит диаметр, поэтому при их обработке под влиянием сил резания, а также под воздействием собственного веса возникают деформации. Все это создает определенные трудности при их изготовлении и предопределяет выбор материала и технологический процесс обработки.

В последние годы в станкостроении наряду с винтовыми парами скольжения стали применять винтовые пары качения, состоящие из ходового винта и гайки, сопряжение между которыми создается с помощью шариков

Такая винтовая пара не является самотормозящей и может применяться как для преобразования вращательного движения в поступательное, так и наоборот.

Профиль винтовых канавок винта и гаек может быть полукруглый (рис. 6.113, *а*) и арочный (рис. 6.113, *б*). В первом случае профиль резьбы аналогичен профилю беговой дорожки шарикоподшипников и при работе в паре с гайкой создает двухточечный контакт шариков. Недостаток такого профиля – неопределенность угла контакта. Арочный профиль создает четырехточечный контакт шариков, обеспечивает постоянство угла контакта.

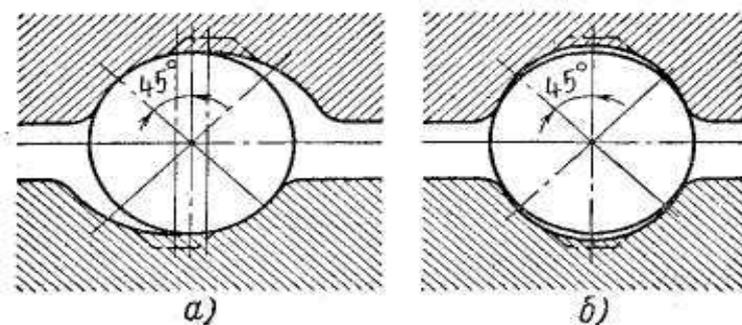


Рис. 6.113. Профиль винтовых канавок:
а – полукруглый; *б* – арочный

Ходовые винты пар качения в основном изготавливают по тем же техническим условиям, что и ходовые винты скольжения. Так, например, наи-

большая накопленная ошибка шага резьбы винта не должна превышать отклонений для винтов 1 класса точности 6 мкм на длине 100 мм.

К материалу для ходовых винтов во избежание деформации при эксплуатации предъявляются требования высокой износостойкости, хорошей обрабатываемости и состояния стабильного равновесия внутренних напряжений после обработки.

Из рекомендуемых для ходовых винтов сталей подобрать сталь, полностью отвечающую указанным выше требованиям, очень трудно. Особенно нежелательной для ходовых винтов является их деформация, которая может проявляться как в процессе обработки, так, что особенно опасно, и в процессе эксплуатации. Особенно влияют на деформацию остаточные напряжения в самих заготовках и напряжения, возникающие при механической обработке, в т.ч. и при поперечном перерезании продольных волокон прутковой заготовки. Они могут достигать 300...400 МН/м² (30...40 кгс/мм²), особенно у ходовых винтов, изготовляемых из заготовок, у которых предварительно не были сняты остаточные напряжения. Это приводит к большим ошибкам по основным параметрам точности ходовых винтов. Уменьшить влияние этих факторов на погрешность ходовых винтов можно правильным выбором технологического процесса их изготовления.

Ходовые винты станков нормальной точности, не подвергаемые термической обработке, изготовляют обычно из среднеуглеродистых сталей А40Г с повышенным содержанием серы (0,18...0,80%) и стали 45 с добавлением 0,15...0,05% свинца. Повышенное содержание серы улучшает обрабатываемость и уменьшает шероховатость поверхности. Ходовые винты прецизионных станков классов 0 и 1 изготовляют из сталей марок У10А, У12А, ХВГ, ХГ, 30ХВА, 18ХГТ и стали 40ХФА, менее склонной к деформации при азотировании. Стали У10А и У12А хорошо обрабатываются, износостойки и при известных условиях термической обработки не дают значительных остаточных деформаций. Заготовки подлежат отжигу на структуру зернистого перлита и твердость НВ 170-187.

Ходовые винты пар качения изготовляют из легированных сталей марки ХВГ или азотируемой стали марки 30ХЗВА и подвергают термической обработке до твердости НRC 58-62.

В качестве заготовок для ходовых винтов применяют обычно прутки, отрезанный от сортового материала диаметром, максимально приближающимся к рассчитанному диаметру заготовок с минимальным припуском. Минимальный припуск определяется ошибками установки и дефектным слоем, однако из-за ряда факторов припуск обычно значительно выше минимальной величины.

Основными базами ходового винта, которыми он базируется в изделии, являются его опорные шейки и опорные буртики. Исполнительными поверхностями ходового винта является поверхность винтовой резьбы. Между исполнительными поверхностями и основными базами должна быть обеспечена наибольшая точность.

Так как технологическими базами при изготовлении ходовых винтов являются центровые отверстия по оси винта, то во избежание деформаций, возникающих под влиянием сил резания и собственного веса, создается дополнительная двойная направляющая технологическая база, которой является наружная поверхность винта. Это обстоятельство требует ее обработки с высокой точностью, что влияет на выбор технологического маршрута.

Наружный диаметр ходовых винтов класса 3 выполняют по посадке $h6$, а винтов классов 0; 1 и 2 – по посадке $h5$. Для винтов класса 4 наружный диаметр выполняют с посадкой $f6$.

Технологический маршрут изготовления ходовых винтов нормальной точности для станков общего назначения типа 16К20 (рис. 6.114) в условиях крупносерийного производства приведен в табл. 6.13.

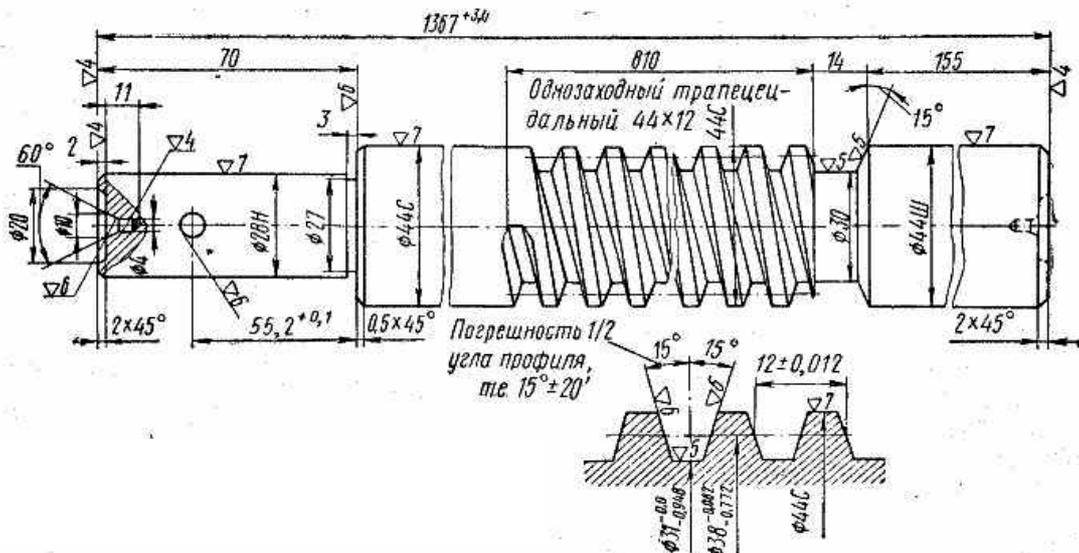


Рис. 6.114. Ходовой винт токарного станка 16К20

Отрезанные заготовки ходовых винтов длиной более 1 м подвергают правке. Правку обычно выполняют вручную специальным пневматическим приспособлением, установленным на токарном станке, или ручным домкратом, непосредственно установленным на резьбонарезном станке. Ходовой винт устанавливают в центрах и пропускают через опорные призмы приспособления. Сообщив винту сравнительно медленное враще-

ние, находят место наибольшего биения. Под это место подводят опорные призмы приспособления и производят правку. Ввиду трудоемкости правки изготовление винтов организуют так, чтобы избежать частых правок. В связи с этим, винты между операциями рекомендуется хранить в вертикальном положении. В качестве заготовок используют, прутки из горячекатаной стали, которые после правки на специальном правильном станке обрабатывают на бесцентрово-токарных станках, затем разрезают на части, соответствующие длине винта, и в зависимости от марки стали подвергают термической обработке. Разрезанные на куски заготовки правят с допустимым биением 0,5 мм на всей длине.

Таблица 6.13

Маршрут обработки ходового винта токарного станка 16К20

№ оп.	Содержание операции	Технологические базы
1	Подрезка торцев, снятие фасок, зацентровка и протачивание выточек на торце	наружная поверхность
2	Протачивание выточки $\varnothing 30 \times 14$ для захода резьбы	наружная поверхность
3	Обтачивание шейки $\varnothing 28H$ с припуском на шлифование и прорезка канавки	наружная поверхность центровые отверстия
4	Черновое шлифование наружной поверхности	центровые отверстия
5	Фрезерование резьбы с припуском 0,6мм	наружная поверхность центровые отверстия
6	Правка	
7	Получистовое нарезание резьбы. Припуск по профилю – 0,12 мм на сторону	наружная поверхность центровые отверстия
8	Сверление отверстия под штифт	наружная поверхность
9	Окончательное шлифование наружной поверхности	наружная поверхность центровые отверстия
10	Проверка биения. Правка – при необходимости	центровые отверстия
11	Нарезание резьбы окончательное	наружная поверхность центровые отверстия
12	Шлифование шейки до $\varnothing 28H$	центровые отверстия

Калиброванный материал бесцентрово-токарную обработку не проходит.

Во время правки могут возникнуть остаточные напряжения, которые через некоторое время вызывают деформации ходового винта. Поэтому ходовые винты прецизионных станков классов 0 и 1 правке не подвергают. Для уменьшения остаточных напряжений, вызванных правкой и черновой обработкой винтов классов 0; 1; 2 и иногда 3, подвергают старению, при

этом искусственное старение является более эффективным, чем естественное. При естественном старении даже за довольно длительное время пролеживания заготовок, исчисляемое месяцами, снимается лишь 30...40% внутренних напряжений, тогда как искусственное старение в течение 20...25 ч снимает до 80% внутренних напряжений.

Старение обычно производят в электрических печах шахтного типа перед чистовыми операциями нарезания резьбы и обработки опорных шеек ходового винта. Для винтов, изготавливаемых из стали А40Г, старение проходит при следующем режиме: нагрев в масляной ванне до температуры 180...200°С в течение 20 ч с последующим постепенным охлаждением до температуры 50°С.

Заготовки под винты большой длины центруют на токарных станках сначала с одного торца, а затем, после поворота на 180°, с другого. Для создания дополнительной технологической базы, которой является наружный диаметр ходового винта, заготовки, шлифуют на бесцентрово-шлифовальных и на круглошлифовальных станках в центрах. В первом случае шлифуют до зацентровки для совмещения оси шлифованной поверхности с осью центровых отверстий. Шлифование в центрах обычно применяют для винтов классов 0; 1 и 2.

Резьбу на ходовых винтах нарезают за несколько операций фрезерованием, методом вихревого нарезания и резцом на токарно-винторезных станках. Первые два метода наиболее производительны, но применяются в основном как черновые операции. Ходовые винты нарезают на токарных и резьбонарезных станках различными прорезными и профильными резцами. При этом существуют два способа установки плоскости профиля резца относительно оси нарезаемого ходового винта.

При первом способе плоскость профиля резца совмещают с плоскостью, проходящей через ось ходового винта (рис. 6.115, а). В данном случае все режущие кромки резца являются прямолинейными. Это значительно облегчает его заточку по профилю и обеспечивает геометрически правильный профиль резьбы ходового винта. Недостаток этого способа заключается в том, что при большом угле подъема винтовой линии нарезаемых винтов у одной кромки резца образуется тупой угол резания, вследствие чего она скоблит, а не режет металл, а у другой кромки образуется острый угол, что ослабляет режущую кромку. Кроме того, эти обстоятельства создают опасность врезания резца в металл под влиянием сил, возникающих вследствие трения одной из граней резца о стенку канавки.

При втором способе установки плоскости профиля резца относительно оси ходового винта (рис. 6.115, б) углы резания у обеих режущих кромок

резца одинаковы, и составляющая силы резания действует нормально к плоскости профиля резца. Это позволяет исключить недостатки, которые свойственны первому способу. Но в этом случае возникает другое затруднение. Чтобы получить прямобочный профиль резьбы правильной геометрической формы, все три кромки резца необходимо делать криволинейными, что значительно усложняет и удорожает изготовление и заточку таких резцов.

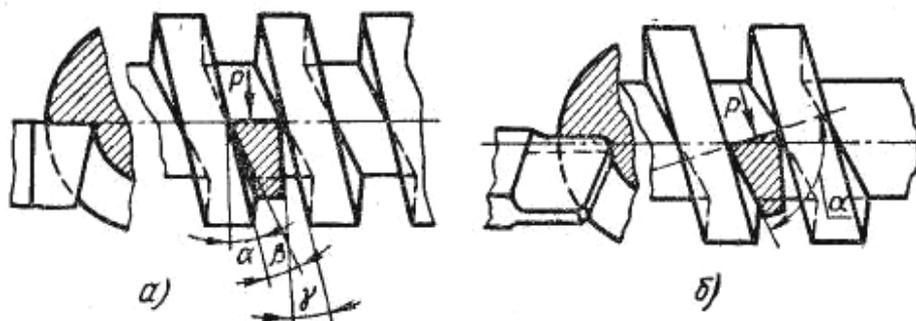


Рис. 6.115. Схемы установки резцов при нарезании резьбы

Учитывая изложенное, первый способ установки резцов применяется для чистового нарезания ходовых винтов с небольшим углом подъема резьбы, а второй – для черновой обработки, когда можно пренебречь получающимися искажениями профиля. Чистовое нарезание ходовых винтов с большим углом подъема резьбы можно рекомендовать вести тремя отдельными резцами, при этом их режущие кромки изготавливают прямолинейными, и плоскость профиля резца устанавливают в плоскости, проходящей через ось ходового винта. Таким образом, этот способ устраняет указанные выше недостатки.

Фрезерование резьбы на резьбофрезерных станках дисковой фрезой с прямолинейными режущими кромками применяют для черновой обработки, при этом дисковую фрезу устанавливают аналогично установке резца по второму способу, т.е. так, что ось ее вращения располагается на высоте центров нормально к средней винтовой линии резьбы винта. Такая установка фрезы с прямолинейной режущей кромкой приводит к искажению профиля нарезаемой резьбы, поэтому его обычно исправляют на последующих операциях калибровкой резцами.

Другим недостатком фрезерования резьбы является неравномерность резания, что повышает шероховатость обрабатываемой поверхности и ускоряет затупление фрезы. При фрезеровании следует стремиться к тому, чтобы в зацеплении с деталью, на которой нарезается резьба, находилось не менее двух зубьев фрезы.

Резьбу на резьбофрезерных станках нарезают фрезами из быстрорежущей стали при скорости резания 40...50 м/мин и подаче 0,40...0,60 мм/зуб. Оснащение фрезы пластинками из твердого сплава значительно повышает производительность обработки за счет повышения скорости резания до 180...200 м/мин.

Нарезание резьбы фрезерованием особенно целесообразно производить на длинных валах, т.к. в этом случае участие рабочего сводится лишь к установке и снятию детали и пуску станка, что позволяет легко осуществить многостаночное обслуживание.

Все большее распространение в последнее время находит так называемое вихревое нарезание резьбы. При этом способе при вращении обрабатываемой детали и параллельном движении резцовой головки вдоль ее оси с определенным шагом, за один оборот детали осуществляется результирующее движение по винтовой линии. Ось резцовой головки смещена параллельно оси обрабатываемой детали на величину e , поэтому процесс нарезания получается прерывистым (рис. 6.116).

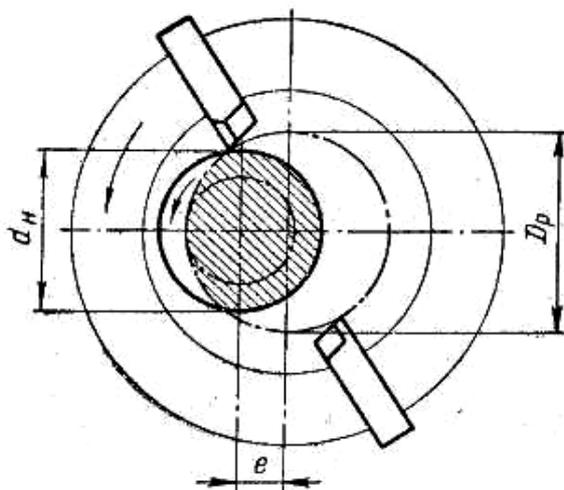


Рис. 6.116. Схема вихревого нарезания наружной резьбы

Резцовая головка представляет собой дисковую фрезу внутреннего касания с установленными в нее двумя, четырьмя или шестью резцами, профиль которых соответствует профилю нарезаемой резьбы.

При вихревом нарезании режущие кромки каждого резца находятся в контакте с обрабатываемой поверхностью детали только на некоторой части окружности. На остальной, большей, части окружности резцы проходят по воздуху и охлаждаются, что повышает их стойкость. Вихревое нарезание можно выполнять как на специальных станках, так и на обычных то-

карных, если оснастить их специальными резьбовыми головками с отдельным приводом.

Вихревое нарезание происходит при сравнительно высоких режимах обработки. Так, ходовые винты из стали А40 резцами, оснащенными пластинками из твердого сплава, нарезают со скоростью резания 250...300 м/мин (при стойкости 60 мин). Круговая подача лежит в пределах 0,2...0,5 мм/об. резца. Применение более высоких режимов резания, если не принять дополнительных мер, может привести к деформациям винта вследствие его нагрева. Так, нагрев ходового винта длиной 300 мм выше температуры 40...50°С вызывает удлинение его на 0,01 мм.

По сравнению с фрезерованием резьбы вихревое нарезание резцами с пластинками из твердого сплава с применением охлаждения более производительнее, дает поверхность достаточно высокого класса чистоты и снижает деформации резьбы. Уменьшить шероховатость нарезаемой поверхности и повысить точность резьбы можно увеличением количества резцов в инструментальной головке и специальным распределением между ними элементов обработки резьбы.

Так, при применении головки из четырех резцов два противоположно расположенных резца обрабатывают поверхность внутреннего диаметра, третий профилирует резьбу, а четвертый зачищает и снимает заусенцы.

Применение инструментальных головок с тангенциальным расположением резцов при вихревом нарезании еще более эффективно.

Вихревой метод нарезания может быть применен для нарезания винтов 3 и 4 классов точности.

Наибольшая деформация ходового винта происходит после чернового фрезерования резьбы. Поэтому в приведенном технологическом маршруте после этой операции предусмотрена правка винта. Ее производят специальным домкратом, установленным на направляющих токарно-винторезного станка на операции получистовой обработки профиля резьбы, а также в случае необходимости после шлифования наружных поверхностей.

При нарезании резьбы у ходовых винтов значительной длины, когда в качестве технологических баз используют центровые отверстия и дополнительно шлифованную наружную поверхность, на последнюю надевают две втулки специального люнета, установленного на суппорт станка, между которыми, как между двумя опорами, осуществляется резание.

Отделочную обработку резьбы производят на прецизионных токарно-винторезных станках мод. 1622Б быстрорежущими резцами с доведенными гранями. Чтобы точнее установить плоскости профиля резца по профилю резьбы, их делают с круглыми стержнями.

Ходовые винты повышенной точности обрабатывать несколько сложнее, чем обычные; их не подвергают правке в результате деформации в процессе обработки. Поэтому для них предусматривают, в зависимости от класса точности, однократное или двукратное искусственное или естественное старение. Так как после старения происходит перераспределение внутренних напряжений и ходовой винт в известной мере деформируется, вводят операции проверки зацентрованных отверстий и их перецентровку.

Для уменьшения и устранения погрешностей, возникающих в процессе чистовой и отделочной обработки резьбы, ее нарезают на прецизионных станках или на специальных станках с применением коррекционных устройств. Эти устройства путем дополнительных перемещений режущего инструмента во время работы автоматически вносят поправки в относительные перемещения винтовой передачи.

Прецизионные ходовые винты соответствуют 0 и 1 классам точности ведомственных технических условий. Высокие требования точности, предъявляемые к прецизионным винтам, обуславливают и особые требования к выбору материала и технологическому процессу их изготовления. Винты бывают закаленными и незакаленными. Термическое упрочнение винтов повышает износостойкость и позволяет длительное время сохранять их точность.

Сталь, из которой изготавливают прецизионный винт, подвергают анализу по химическому составу и микроструктуре. Правка заготовки прецизионного ходового винта в процессе его изготовления не допускается, поэтому она еще до обработки должна быть проверена на прямолинейность. Качество таких винтов во многом зависит от технологии его изготовления.

Прецизионные винты подвергают неоднократной термической обработке: отжигу, высокотемпературному отпуску, закалке, старению и стабилизации. Режим термической обработки устанавливают в зависимости от материала и размеров винтов в соответствии с назначенной термической операцией.

После черновых токарных операций заготовки подвергают либо высокотемпературному отпуску, либо старению или стабилизации. Так, винты из стали ХВГ диаметром 40...80 мм подвергают искусственному старению в масляной ванне в течение 30 ч при температуре 140...150°C или высокотемпературному отпуску с нагревом в шахтной печи до температуры 650...630°C с выдержкой в течение 10 ч и остыванием вместе с печью до 400°C и последующим охлаждением на воздухе.

Термическое упрочнение винтов до твердости HRC 56-59 обеспечивается объемной закалкой. Нагрев производят в шахтной соляной ванне в вертикальном положении сначала до температуры 550...600°C выдержкой

1 ч, затем температуру постепенно повышают до 840...850°C. Закалку производят в масле, подогретом до 50°C, также при вертикальном положении винта. После закалки предусматривается двойной отпуск. При таком методе закалки могут возникнуть значительные деформации винта, искривляющие его ось, поэтому в промышленности применяют и другие методы упрочнения, как азотирование и закалка с нагревом т.в.ч.

Операцию доводки центровых отверстий до чистоты поверхности рабочих фасок не ниже $Ra\ 0,32$ производят на токарных станках нормальной точности или специальных приспособлениях твердосплавным инструментом, а также на специальных центрошлифовальных станках с планетарным движением шлифовального круга.

Резьбу нарезают за три операции – черновая, получистовая и чистовая – соответственно на станках высокой и особо высокой точности.

Черновую нарезку производят на полную глубину (а иногда и больше на 0,2...0,3 мм) профиля с припуском поднормали 0,07...0,1 мм на сторону профиля с чистотой обработки $Ra\ 1,25$.

Получистовое шлифование резьбы производят с припуском по нормали 0,02...0,03 мм на сторону профиля с чистотой обработки $Ra\ 0,32$.

Применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) снижает трение и препятствует прилипанию стружки к шлифовальному кругу, что сохраняет его режущие свойства, а также способствует отводу тепла и образующейся стружки, непосредственно влияющих на точность обрабатываемой резьбы. Постоянство температуры СОЖ поддерживается автоматически в пределах 1...2°. СОЖ должна очищаться магнитными сепараторами или в центрифугах до размера взвешенных частиц не более 2 мкм (тонкая очистка).

Выбор круга той или иной характеристики зависит от шага и длины резьбы и характера шлифования. Мелкие резьбы нарезают обычно более мелкозернистыми кругами, чем резьбы с крупным шагом. Мелкозернистые круги дают менее шероховатую поверхность резьбы, но они менее производительны, чем крупнозернистые, и при интенсивных режимах резания могут дать прижоги. Слишком твердый круг быстро засаливается, слишком мягкий быстро изнашивается, что влияет на точность изготовления винта. В связи с этим в процессе нарезания резьбы шлифовальные круги подлежат правке. Режим правки до 0,1 мм на один проход.

Для получистового и чистового шлифования резьбы рекомендуется применять шлифовальные круги М8М16К, М1ОВМ26-8к. Производительность шлифования предопределяется соотношением между скоростью вращения детали, глубиной резания и подачей. При шлифовании резьбы скорость вращения заготовки не превышает $v_{из} = 1,5\ \text{ч} \dots 2\ \text{м/мин}$, а ско-

рость вращения круга $V_{кр} = 30$ м/с, при чистовом шлифовании $v_{из} = 0,4$ м/мин. Посадочные шейки и опорные буртики винта после чистового шлифования на станках особо высокой точности класса А (по нормативам ЭНИМСа Н70-11) с припуском 0,015 мм на диаметр подвергают доводке специальными притирами, изготовленными из чугуна СЧ 21-40 с твердостью НВ 170-241 с применением притирочного материала из смеси веретенного масла, олеиновой кислоты и микропорошка М6-М4.

Ниже дана типовая схема изготовления закаленных ходовых винтов диаметром 25...80 мм, длиной 500...2000 мм 0 – 1 классов точности с шагом резьбы 1...12 мм из стали ХВГ в серийном и мелкосерийном производстве:

- 1) отрезка заготовки;
- 2) термическая обработка (отжиг);
- 3) подрезка торцов и центрование;
- 4) черновая токарная обработка наружных поверхностей;
- 5) термическая обработка (стабилизация);
- 6) срезка центровых отверстий, подрезка торцов и центрование;
- 7) чистовая обработка наружных поверхностей под шлифование;
- 8) фрезерование шпоночного паза;
- 9) слесарная зачистка заусенцев;
- 10) термическая обработка (закалка и отпуск);
- 11) доводка центровых отверстий;
- 12) черновое шлифование наружных поверхностей;
- 13) контроль на твердость и отсутствие трещин;
- 14) черновое нарезание резьбы на резьбошлифовальном станке многониточным кругом;
- 15) шлифование заходов резьбы на резьбошлифовальном станке;
- 16) термическая обработка (искусственное старение);
- 17) доводка центровых отверстий;
- 18) получистовое шлифование наружных поверхностей;
- 19) получистовое нарезание резьбы шлифовальным кругом;
- 20) термическая обработка (искусственное старение);
- 21) доводка центровых отверстий;
- 22) предварительное шлифование посадочных шеек, опорных буртиков и чистовое шлифование наружных поверхностей резьбы;
- 23) чистовое шлифование резьбы абразивным кругом;
- 24) шлифование фасок на вершинах витков резьбы;
- 25) контроль резьбы;
- 26) шлифование посадочных шеек с припуском под притирку 0,015 мм на диаметр;

27) доводка посадочных шеек и опорных буртиков. Контроль ходовых винтов. Параметры точности ходовых винтов.

Параметры точности (наружный, средний и внутренний диаметры, угол профиля, шаг резьбы) контролируют в зависимости от класса точности ходовых винтов различными измерительными средствами: микрометрами и индикаторными скобами с микронными индикаторами, резьбовыми калибрами-кольцами, точными миниметрами с ценой деления 0,001 мм, профильными шаблонами и универсальными измерительными микроскопами, универсальными шагомерами и специальными компараторами для контроля погрешности шага.

Как известно, при измерении шага винта могут обнаружиться отклонения и по другим параметрам точности. Измерение шага винта целесообразно производить на отдельных участках его длины (25, 50 и 300 мм) с помощью шагомеров по одной стороне профиля. Конструкция их проста, но применяются они обычно для винтов 4 класса точности.

Для винтов более высокого класса шаг измеряют на специальных измерительных устройствах (с помощью эталонного винта, по перемещению гайки на оборот ходового винта, обычно той, которая работает в паре с винтом).

Шаг прецизионных ходовых винтов проверяют на специальных или универсальных компараторах.

Профиль резьбы измеряют оптическим компаратором различного увеличения, очертания и угла резьбы (10...100 раз).

Изготовление винтов пар качения в известной степени напоминает процесс изготовления прецизионных винтов скольжения.

Технологические процессы изготовления таких винтов 0 и 1 классов точности в мелкосерийном производстве разработаны ЭНИМСом. Винты, изготавливаемые из стали ХВГ и 30ХЗВА, подвергают в процессе изготовления неоднократной термической обработке с применением обработки холодом для придания винту необходимой твердости (не менее HRC 60-62), износостойкости и длительного сохранения точности.

Так как при объемной закалке винт значительно деформируется, то под резьбошлифование устанавливают большой припуск, так что предварительное нарезание резьбы до термической обработки оказывается неэкономичным. Для сокращения трудоемкости нарезания резьбы после закалки винтов до высокой твердости операцию резьбошлифования заменяют более прогрессивным процессом – предварительным нарезанием резьбы на токарно-винторезном станке особо высокой точности резцами, оснащенными пластинками твердого сплава ВК6М или ВК3М с профилем, соответствующим профилю винтовой канавки. Резец имеет следующие геомет-

рические параметры: $\gamma = -5^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\lambda = 0$. Обработка ведется при скорости резания 20 м/мин и глубине резания 0,1 мм при подаче, равной шагу резьбы. При этом способе нарезания исключается появление трещин и значительно повышается производительность.

Для получения полукруглого и арочного профиля на последующих операциях резбошлифования абразивные круги правят с помощью специальных приспособлений.

При резбошлифовании резьбы, которое делится на черновое, получистовое и чистовое, следует учитывать рекомендации, данные для изготовления прецизионных ходовых винтов скольжения.

Для азотируемых винтов из стали 30ХЗВА следует иметь в виду, что глубина азотированного слоя невелика (0,4...0,45 мм), особое внимание следует уделять деформациям винта при его механической обработке. Поэтому процесс нарезания резьбы предусматривает четыре операции: две первые – черновую и чистовую – производят резцом, а остальные две абразивным кругом – до азотирования и после него.

Ходовые винты большой длины, в основном для тяжелых станков, делают не цельными, а составными, что значительно уменьшает трудности их изготовления, хотя конструкция ходового винта и усложняется.

Основная трудность – обеспечение требований технических условий после сборки такого винта из отдельно изготовленных секций. Соединение секций винта должно обеспечить необходимую точность и жесткость винта в целом. В большинстве случаев такие ходовые винты выполняют по 3 классу, а диаметры опорных шеек – по 6 качеству.

Конструктивно соединение секций винта выполняют различными способами. Выбор того или иного соединения зависит от размеров винта, количества стыкуемых секций. На рис. 6.117 показана одна из распространенных конструкций соединения ходовых винтов тяжелого токарного станка мод. 1660 (диаметр вала 85 мм, длина 14235 мм) и глубокорасточного станка мод. 2959 (диаметр вала 170 мм, длина 46000 мм). Обе секции винта 1 и 2 соединяют при помощи проставки 3, причем сначала обрабатывают одну секцию винта, в которую завернута на резьбе обработанная заранее проставка, и производят предварительное нарезание резьбы. Затем проставку вывертывают и соединяют с другой секцией винта. Проставка служит эталоном для нарезания резьбы на этой секции вала. Особенность технологического процесса изготовления составных ходовых винтов заключается в том, что отдельные секции винта и проставки обрабатывают отдельно, а затем совместно: при этом особое внимание уделяется необходимой точности посадочных наружных и внутренних соединительных поверхностей секции винта и проставки и их концентричности с диаметрами

наружных поверхностей винта. Посадочные отверстия под замок в секции винта растачивают и развертывают с достижением концентричности по наружному диаметру до 0,01...0,02 мм. В связи с таким высоким требованием наружную поверхность винта шлифуют. По этой поверхности как по технологической базе выставляют винт на операции обработки отверстия под замок.

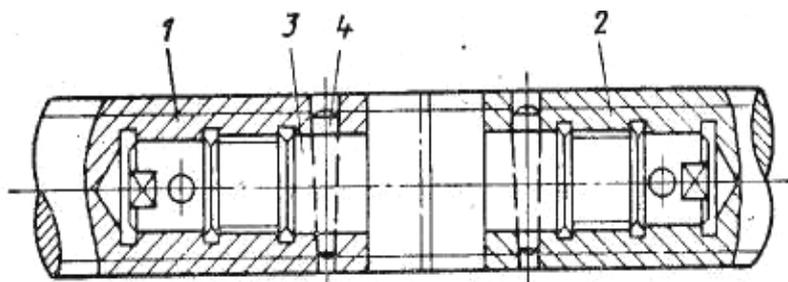


Рис. 6.117. Схема соединения секции составных ходовых винтов

Предварительно нарезанные секции винта собирают с проставками 3 с плотным прилеганием опорных торцов под щуп 0,02 мм, фиксируя их положения коническими штифтами 4. На торцах секции винта и соединительной проставки ставят клеймо одного номера. В собранном виде винт устанавливают в центрах и люнете и производят окончательное нарезание резьбы поочередно с двух концов, с поворотом винта на 180°.

При калибровке резьбы на первой секции резьбу на проставке нарезают вместе с винтом. Вставленную проставку с окончательно нарезанной резьбой используют для настройки станка и инструмента.

6.11. Изготовление деталей класса «пустотелые цилиндры»

К этому классу относятся гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания, гильзы пневмо- и гидроцилиндров.

Гильзы характеризуются относительно малой толщиной стенок, большими диаметрами и длиной, высокими степенью точности и классами шероховатости посадочных и рабочих поверхностей. Для повышения точности соединения гильза-поршень применяют селективную сборку этой пары. Гильзы после окончательной обработки сортируют по размерным группам, количество которых для разных двигателей автомобилей различно. Например, для двигателей автомобилей МАЗ-500 и МАЗ-503 мокрые гильзы, имеющие номинальный внутренний диаметр 130 мм, делятся на четыре группы (табл. 6.14).

Размерные группы деталей класса мокрые гильзы

Группы	A	AA	AAA	AAAA
Допуск по внутреннему диаметру, мм	+0,000+0,010	+0,020+0,030	+0,010+0,020	+0,30+0,040

Разбивка гильз на размерные группы позволяет правильно комплектовать пару гильза-поршень для получения необходимого зазора между поверхностями гильзы и поршня. При сборке комплектуют пару одной размерной группы.

От качества и точности рабочих поверхностей гильзы в значительной степени зависит срок службы двигателя. Гильзы работают в тяжелых условиях, испытывая воздействие высоких температур и больших давлений при сгорании рабочей смеси. Рабочие поверхности гильзы подвергаются абразивному износу, причем наиболее интенсивный износ наблюдается в зоне движения верхнего компрессионного поршневого кольца. Сухие гильзы (рис. 6.118, *a*) часто изготавливают укороченными в виде вставок, длина которых соответствует длине движения головки поршня, и запрессовывают в блок цилиндров. При эксплуатации сухие гильзы не выпрессовываются; при ремонте растачивают и хонингуют.

Автомобильные двигатели с мокрыми гильзами (рис. 6.118, *b*) удобны и экономичны. Мокрые гильзы являются сменными, они омываются охлаждающей водой, т.к. наружная поверхность гильз является внутренней стенкой водяной рубашки блока цилиндров.

В блок мокрые гильзы устанавливают под небольшим давлением и центрируют в нем двумя поясками: верхним по скользящей посадке $h6$ и нижним по ходовой посадке $f6$. Для предотвращения попадания воды из водяной рубашки цилиндров в масляный поддон и канавки нижнего центрирующего пояска гильзы заложены резиновые уплотнительные кольца. В верхней части имеется буртик, который входит в выточку в блоке и обеспечивает необходимое положение гильзы по отношению к верхней поверхности блока. Стенки мокрых гильз, воспринимающие рабочее давление газов, изготавливают более толстыми, чем стенки сухих гильз. Толщина стенок стальных гильз 4...7 мм, чугунных 5...9 мм; толщина стенок направляющих поясков на 2 – 3 мм больше минимальной толщины стенок.

Гильза является тонкостенным цилиндром, имеющим малую жесткость в радиальном направлении и легко деформирующимся в процессе об-

работки резанием под действием сил зажима и резания, а также при термической обработке. Поэтому получение высокой точности основных рабочих поверхностей связано с определенными трудностями. Для достижения концентричности наружных и внутренних поверхностей их многократно обрабатывают со снятием за каждую обработку небольших припусков. Наибольшие затруднения вызывает обработка закаливаемых гильз, т.к. из-за возникающих при этом деформаций требуется производить чистовую и окончательную обработку по внутреннему и наружному диаметрам.

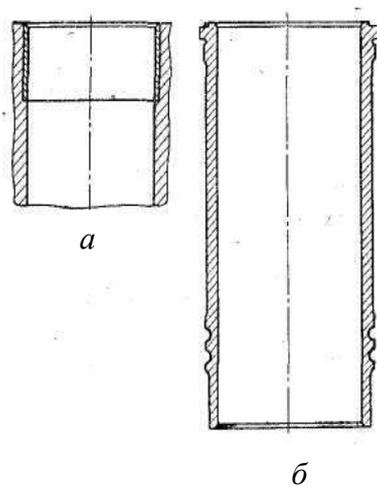


Рис. 6.118. Гильзы автомобильных двигателей:
a – сухая; *б* – мокрая

Гильзы цилиндров изготавливают из легированных чугунов: хромистых, хромоникелевых и хромосилицистых, обладающих повышенными прочностью и сопротивлением истиранию. Заготовки гильз получают отливкой центробежным способом во вращающиеся формы, в земляные формы с корковым стержнем, а также в оболочковые формы. При центробежном способе литья устраняется смещение полуформ и уменьшается расход металла на литники по сравнению с литьем в земляные формы. Недостатком центробежного способа является необходимость получения увеличенного припуска на обработку резанием зеркала, т.к. наименее плотные слои металла оказываются внутри. Припуск на эту обработку зеркала цилиндра составляет 5 – 6 мм, а наружных поверхностей 3 – 4 мм. Точность отливки обеспечивается в пределах 8 класса.

Лучшего качества заготовки гильз получают литьем в оболочковые формы. Припуск на обработку резанием зеркала равен 3 – 4 мм, а наружных поверхностей 2 – 2,5 мм. Точность отливки соответствует 5 – 7-му классам. Твердость заготовок гильз HB 170-255.

Обработкой резанием должны обеспечиваться высокая точность размеров, формы и взаимного расположения основных поверхностей:

1) Точность внутреннего диаметра гильзы 7 кл. и выше. После обработки гильзы сортируют на размерные группы. Овальность и конусность по внутреннему диаметру в пределах 0,01 мм.

2) Класс чистоты зеркала гильзы 9 – 11.

3) Биение посадочных поясков у мокрых гильз относительно поверхности зеркала не более 0,03...0,10 мм; разность биения верхнего и нижнего поясков при замере в одной плоскости не выше 0,08 мм.

4) Класс чистоты посадочных поверхностей мокрых гильз 7 – 8.

5) Точность обработки свободных размеров 14 квалитет.

Гильзы подвергают гидравлическому испытанию под давлением не менее 400 кПа в течение 2 мин и более, при этом запотевание наружной поверхности гильзы не допускается.

Обработка резанием мокрых гильз производится на поточных и автоматических линиях.

На поточных линиях черновая и чистовая обработка заготовок осуществляется в большинстве случаев на шестишпиндельных токарных полуавтоматах. Тонкое растачивание и хонингование отверстия гильзы производят на специальных полуавтоматах и автоматах.

Операция I (рис. 6.119, а):

1. Черновое обтачивание наружной поверхности и растачивание отверстия на 0,5 длины заготовки.

2. Черновое обтачивание оставшейся части наружной поверхности и растачивание отверстия.

3. Получистовое обтачивание наружной поверхности и растачивание отверстия на 0,5 длины заготовки.

4. Получистовое обтачивание и растачивание оставшейся части.

5. Снятие фаски в отверстии и подрезание торца.

6. Отрезка заготовки гильзы.

Исходная заготовка гильзы устанавливается для обработки в самоцентрирующий патрон с использованием дополнительной опоры – люнета

Операция II (рис. 6.119, б):

1. Подрезание торца, прорезание конической канавки со стороны бурта и канавки перехода посадочных поясков к средней части гильзы, протачивание торца бурта с наружной стороны.

2. Чистовое обтачивание наружных поверхностей под бурт и под посадочные пояски, снятие наружной фаски.

3. Обтачивание средней части по копиру и подрезание внутреннего торца бурта.

4. Чистовое обтачивание средней части гильзы и переходного конуса.
5. Прорезание канавки для образования внутреннего торца бурта, канавок для уплотнительных колец с подрезанием внутреннего торца.
6. Тонкое обтачивание по наружным поверхностям бурта и посадочных поясков, снятие фаски в отверстии.

Заготовку гильзы устанавливают для обработки по отверстию на разжимной оправке.

Операция III:

Тонкое растачивание отверстия гильзы на вертикальном шестипозиционном полуавтомате.

Операция IV:

Хонингование отверстия на четырехшпиндельном полуавтомате фирмы

В связи с малой жесткостью гильзы для тонкого растачивания и хонингования отверстия ее устанавливают по окончательно обработанным наружным поверхностям верхнего посадочного пояса и бурта с прижимом по верхнему торцу.

При больших программах выпуска обработка резанием производится на автоматических линиях.

Для контроля гильз применяются пневматические, индикаторные и электроконтактные приспособления. Контролируются диаметры наружных и внутренних поверхностей, их форма, шероховатость посадочных поверхностей, взаимное расположение обработанных поверхностей и их длина. Особенно тщательно проверяется диаметр отверстия – зеркала, его эллиптичность, конусность и огранка. Диаметр зеркала проверяется в трех сечениях на специальном пневматическом контрольном приборе. Контроль внутренних диаметров с сортировкой их на группы и маркировкой гильз каждой группы осуществляется на специальных автоматических устройствах.

Биение посадочных поясков и двух торцов упорного бурта проверяют на индикаторном приспособлении.

Гидравлические устройства находят широкое применение в горном оборудовании: гидравлические стойки, механизированные крени, насосные станции, гидравлические механизмы подачи очистных комбайнов, и т.д.

Силовые гидроцилиндры рассчитаны на давление рабочей жидкости 5...40 МПа, их длина колеблется от 165 до 2000 мм, масса – от 14 до 15000 кг.

Размеры и масса цилиндров и штоков накладывают свои особенности на выбор метода получения заготовки, определяют выбор оборудования, последовательность технологического процесса изготовления.

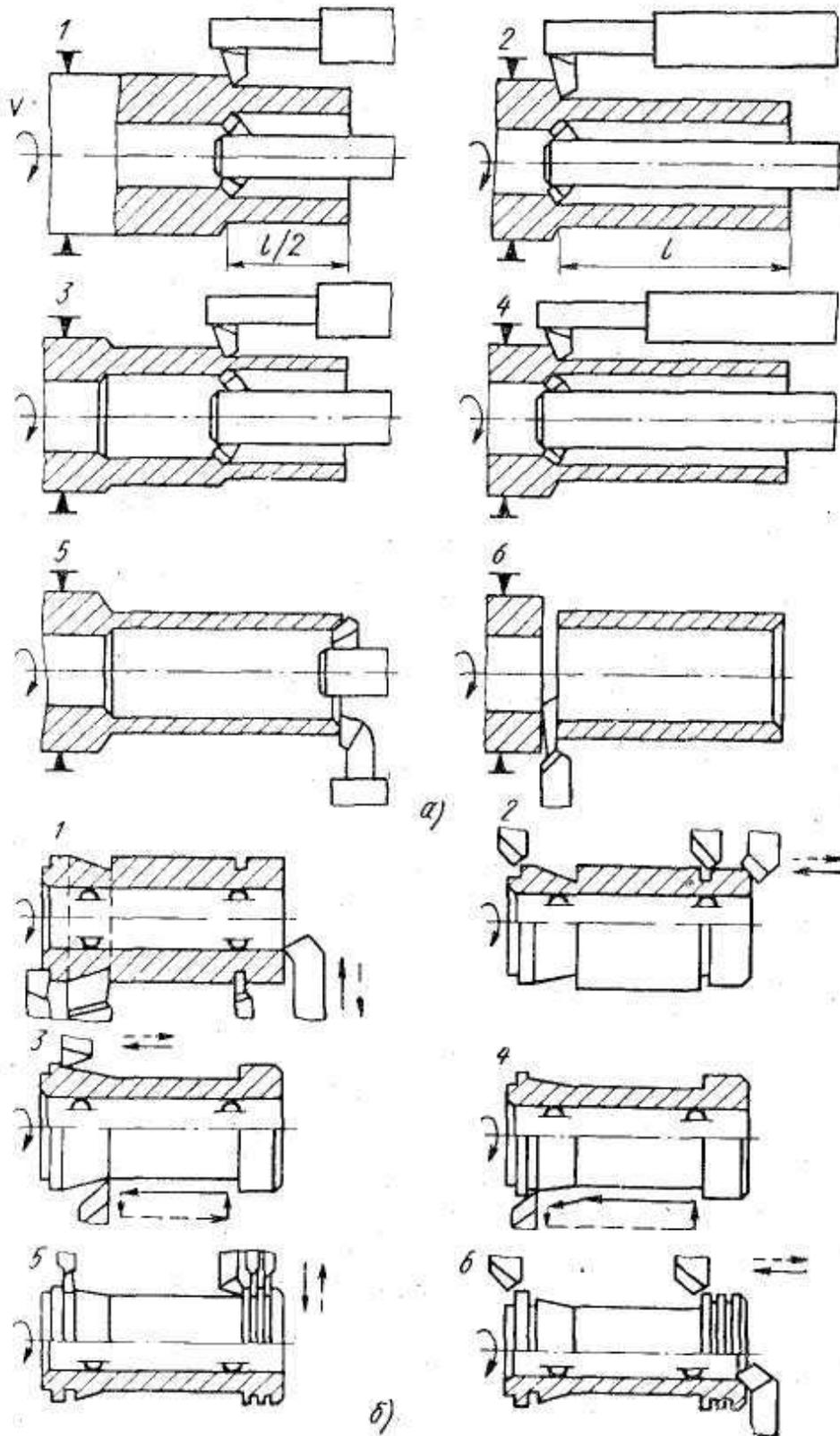


Рис. 6.119. Схемы обработки мокрой гильзы на горизонтально-токарных шестишпиндельных полуавтоматах: а – операция I; б – операция II; 1 – 6 – переходы

Внутренняя поверхность цилиндров обрабатывается по 9 – 10 квалитетам точности; ее шероховатость $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм; непрямолинейность оси цилиндра не более 0,8 мм на длине 1000 мм; конусность и овальность внутренней поверхности на всей длине не более половины допуска на внутренний диаметр; разностенность цилиндра не должна превышать 1 мм; биение посадочных поверхностей относительно внутренней поверхности до 0,05 мм. Силовые гидроцилиндры изготавливаются из толстостенных горячекатаных труб (ГОСТ 8732) и бесшовных холодноотянутых труб (ГОСТ 8733).

Материал гидроцилиндров и штоков – стали 45; 40Х; 30ХГСА.

Процесс изготовления гидравлического цилиндра можно разбить на три этапа:

- 1) изготовление отдельных элементов цилиндра;
- 2) сборка и сварка элементов цилиндра;
- 3) обработка цилиндра в сборе.

К наиболее трудоемким в изготовлении элементам относится гильза цилиндра, т.к. к ней предъявляются более высокие требования по точности и качеству рабочих поверхностей.

Штоки гидроцилиндров по конструкции могут быть цельными и сварными.

В единичном и серийном производстве при малых размерах серий отрезка заготовки гильзы производится на фрезерно-отрезных станках дисковыми пилами. При больших размерах серий используются более производительные трубоотрезные станки (рис. 6.120).

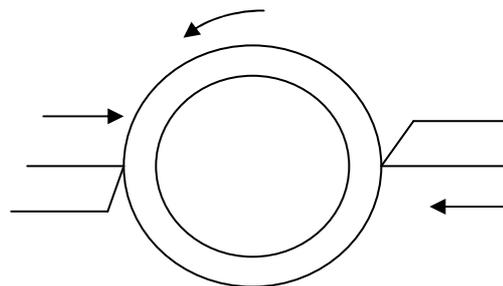


Рис. 6.120. Отрезка заготовки на трубоотрезном станке

В серийном производстве токарная обработка наружного контура гильзы выполняется за две операции на токарно-многолезцовых полуавтоматах. Установка детали – по внутреннему диаметру трубы на кулачковой центральной оправке (рис. 6.121).

Нарезание наружной резьбы производится на резьбофрезерных станках или токарно-винторезных с использованием головки для вихревого нарезания резьбы.

После черновой токарной обработки производится нормализация или улучшение (в зависимости от химического состава материала гильзы). Цель термообработки – повышение обрабатываемости. Измельчается структура, снижается вязкость.

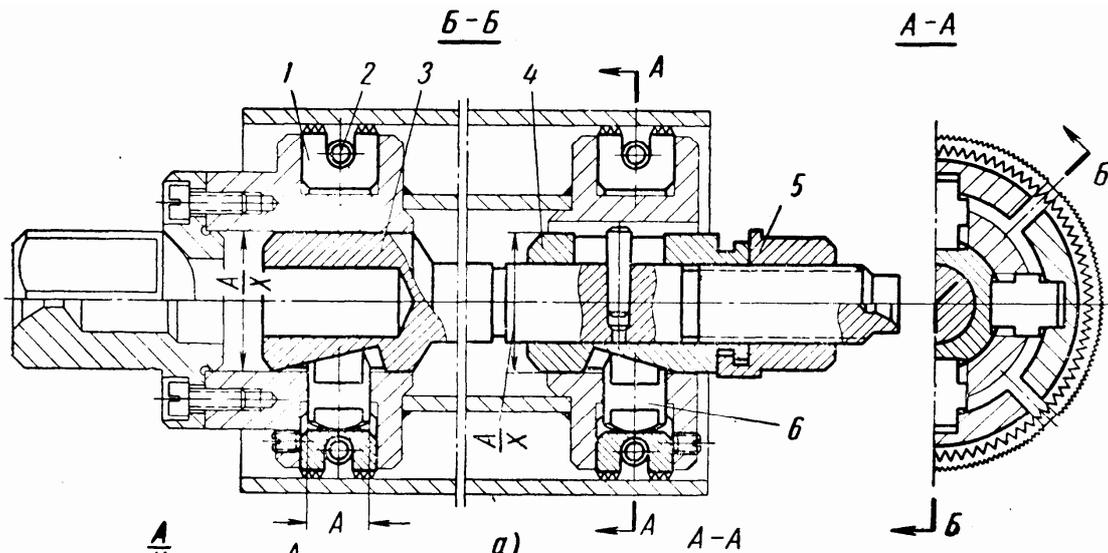


Рис. 6.121. Центровая кулачковая оправка:
1 – кулачек; 2 – пружина; 3 – тяга; 4 – втулка; 5 – гайка зажимная; 6 – плунжер

Термообработка после сварки снижает внутренние напряжения сварных швов.

Обработка внутренней рабочей поверхности цилиндра в единичном и мелкосерийном производстве ведется за одну операцию в три перехода на токарно-винторезном станке. В серийном производстве – за три операции на станках для глубокого растачивания (рис. 6.122).

Технологический маршрут механической обработки представлен в табл. 6.15.

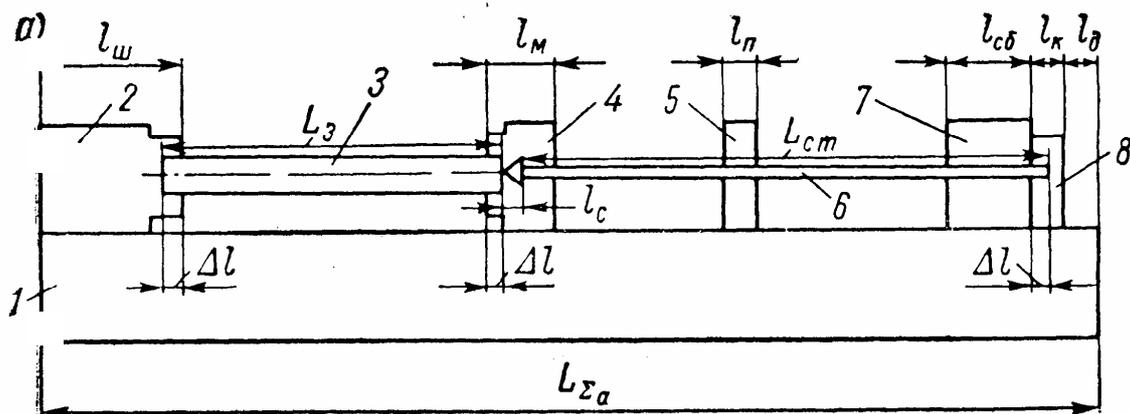


Рис. 6.122. Схема обработки зеркала цилиндра на токарном станке или станке для глубокого растачивания токарного типа:

1 – станина; 2 – передняя бабка; 3 – обрабатываемый цилиндр; 4 – трехкулачковый люнет; 5 – переднее направление; 6 – борштанга; 7 – задняя бабка с подающим суппортом; 8 – подвод охлаждения

Таблица 6.15

Технологический маршрут обработки гидроцилиндра

Производство единичное	Производство серийное	Примечание
Оп. 05. Отрезная Отрезать заготовку гильзы	Оп. 05. Фрезерно-отрезная (Трубоотрезная) Отрезать заготовку гильзы	Отрезать заготовки днища и бобышки
Оп.10. Токарная Установить деталь; проточить пов. 1; проточить пов. 4; переустановить деталь; проточить пов. 2; нарезать резьбу	Оп.10. Токарно-многорезцовая Проточить пов. 1, 4; подрезать торцы	Обработать днище и бобышку по размерам чертежа
	Оп. 15. Токарно-многорезцовая Проточить пов. 2; снять фаски	
	Оп. 20 Резьбофрезерная Нарезать резьбу	
Оп. 15. Токарная Установить деталь; подрезать торец 3; расточить выточку 8; снять фаску; переустановить деталь; подрезать торец 5; расточить выточку 7; расточить выточку 6; снять фаски	Оп. 25. Токарно-револьверная Расточить выточку 8; снять фаску	
	Оп. 30. Токарно-револьверная Расточить выточку 7; расточить выточку 6; снять фаски	
Оп.20. Термическая Нормализация или улучшение	Оп.35. Термическая Нормализация или улучшение	
Оп. 25. Слесарная Разметить боковые отверстия	Оп. 40. Радиально-сверлильная Сверлить боковые отверстия; цековать	
Оп. 30.Сверлильная Сверлить боковые отверстия; цековать		
Оп. 35. Контрольная Проверить размеры чертежа	Оп. 45. Контрольная Проверить размеры чертежа	
Оп. 40. Сварочная Собрать гильзу с днищем, бобышкой и трубопроводом; сварить	Оп. 50. Сварочная Собрать гильзу с днищем, бобышкой и трубопроводом; сварить	
Оп. 45. Термическая Низкий отпуск	Оп. 55. Термическая Низкий отпуск	
Оп. 50. Токарная Калибровать резьбу	Оп. 60. Токарная Калибровать резьбу	
Оп. 55. Токарная Расточить пов. 9; развернуть пов. 9; раскатать пов. 9	Оп. 65. Расточная Расточить пов. 9	
	Оп. 70. Расточная Развернуть пов. 9	
	Оп. 75. Расточная Раскатать пов. 9	
Оп. 60. Контрольная Контроль окончательный	Оп. 80 Контрольная Контроль окончательный	

Черновое растачивание выполняется расточной головкой, оснащенной твердосплавными резцами, – Т15К6 (рис. 6.123).

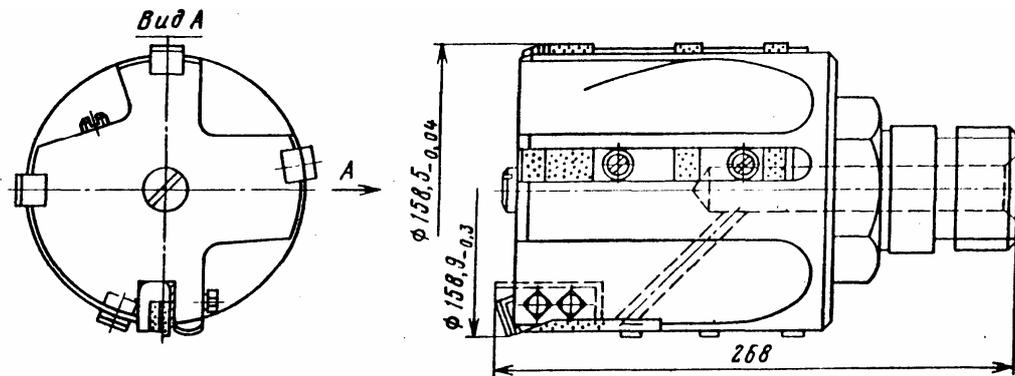


Рис. 6.123. Головка для чернового растачивания

Головка крепится в борштанге ленточной резьбой. Для избежания увода головки, что приведет к «разбиванию» отверстия в конце прохода, головка имеет твердосплавные направляющие и резиновый демпфер низкочастотных колебаний. Через полу борштангу и отверстие в корпусе головки в зону резания под большим давлением подается охлаждающая жидкость, обеспечивающая отвод элементной стружки из рабочей зоны. Надежное стружкодробление обеспечивается согласованием режимов обработки с геометрией режущей части инструмента.

Чистовое растачивание производится плавающей разверткой (рис. 6.124), свободно установленной в корпусе чистовой головки. Развертка надежно обеспечивает точность диаметральных размеров отверстия, но не исправляет искривление его оси.

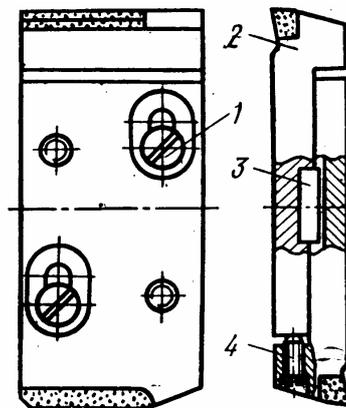


Рис. 6.124. Развертка плавающая:
1 – крепежный винт; 2 – пластина; 3 – шпонка направляющая;
4 – винт регулировочный

Отделочная обработка зеркала цилиндра, а также сквозных отверстий выполняется роликовыми раскатками (рис. 6.125, 6.126).

При отсутствии раскатки нужного размера в единичном производстве отделка рабочей поверхности цилиндра производится полированием.

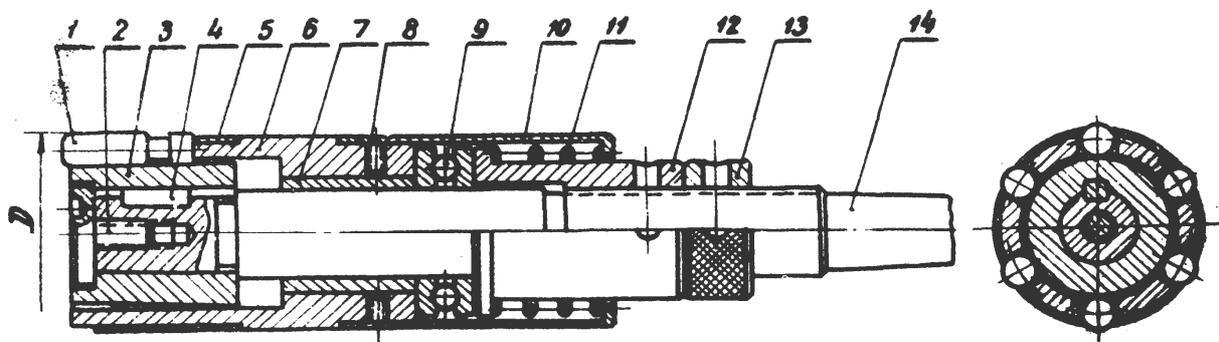


Рис. 6.125. Раскатка для глухих отверстий:

1 – ролик; 2 – винт; 3 – опорная втулка; 4 – пленка; 5 – обойма; 6 – сепаратор; 7 – втулка; 8 – винт; 9 – шарикоподшипник; 10 – стакан; 11 – пружина; 12 – регулировочная гайка; 13 – контргайка; 14 – оправка

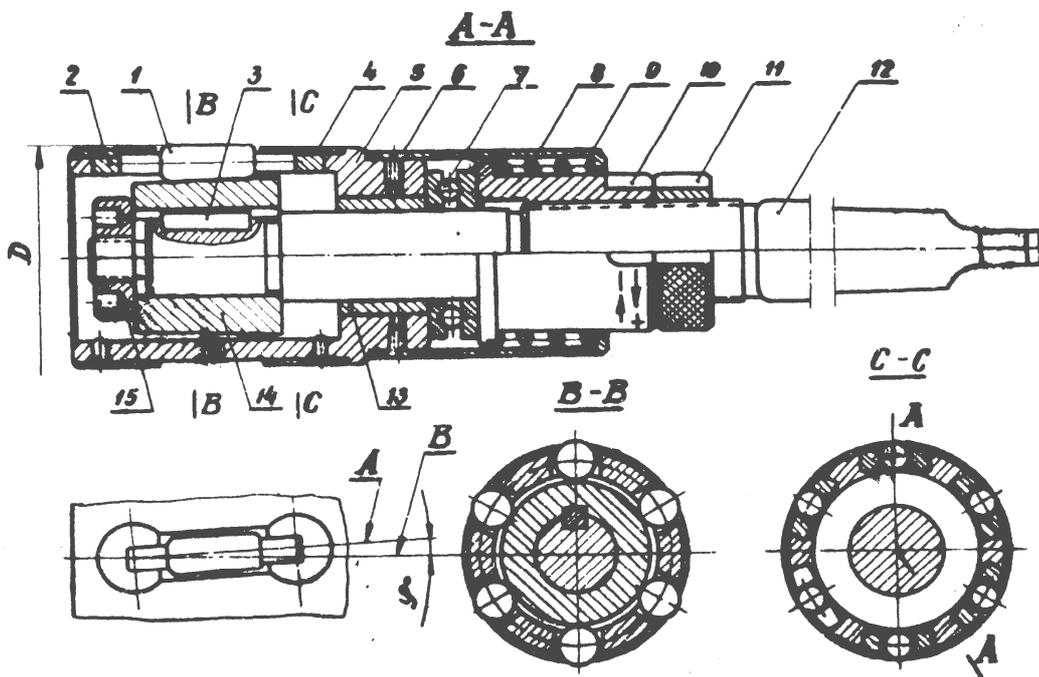


Рис. 6.126. Раскатка для сквозных отверстий:

1 – ролик; 2 – сухарь; 3 – шпонка; 4 – обойма; 5 – сепаратор; 6 – винт; 7 – шарикоподшипник; 8 – пружина; 9 – втулка; 10 – регулировочная гайка; 11 – контргайка; 12 – оправка; 13 – втулка; 14 – втулка опорная; 15 – гайка

6.12. Изготовление поршней

Поршни двигателей внутреннего сгорания работают в условиях высоких напряжений от давления газа и тепловых напряжений (температура в некоторых точках днища доходит до 350...450°C).

Материал поршней должен обладать достаточной прочностью при повышенных температурах, хорошей теплопроводностью, высокой сопротивляемостью износу и коррозии, ростоустойчивостью и плотностью.

В двигателях мало- и среднеоборотных основным материалом служит чугун марок СЧ 24 и СЧ 28, легированный хромом и другими присадками. Иногда используют высокопрочный чугун. Для отъемных головок поршней больших размеров применяют материалы, не обладающие антифрикционными свойствами, но более жаропрочные: стальные поковки и отливки 20ХМ, 30Л и др. В высоконапряженных двигателях встречаются головки поршней из нихрома.

Поршни для легких многооборотных двигателей, а в некоторых случаях и для более крупных двигателей изготавливают из алюминиевых сплавов, преимуществом которых являются малый удельный вес и высокая теплопроводность. Недостатком алюминиевых сплавов, не считая меньшей сопротивляемости износу, следует считать высокий коэффициент линейного расширения, требующий больших зазоров между цилиндром и поршнем в холодной машине.

Для сравнительно больших поршней ($D < 500$ мм) применяют литые сплавы, например, алюминиевомедный сплав АЛ1, содержащий для повышения жаропрочности никель (2%).

В многооборотных двигателях литые алюминиевые поршни вытеснены коваными, обладающими более высокой прочностью. Широкое применение имеет сплав АК4, а также АК2 с пределом прочности $\sigma_g = 40...45$ кГ/мм².

Заслуживают внимания алюминиевые сплавы со сравнительно низкими значениями коэффициента линейного расширения. Так, например, в специальном заэвтектическом силумине с содержанием кремния до 20% коэффициент линейного расширения снижается до 0^{-6} (у сплава АК4 – $22 \cdot 10^{-6}$).

Для ускорения приработки и повышения износостойкости на рабочую поверхность поршней наносят разнообразные покрытия.

Применяют лужение, свинцевание, а из неметаллических покрытий – оксидирование (анодирование) и фосфатирование. С целью защиты от воздействия высокой температуры на днище поршня иногда наносят теплоизоляционное керамическое покрытие, например, двуокись циркония. Крупные чугунные поршни отливают в земляные формы. Поршень формуют в двух

опоках в горизонтальном положении, заливают – в вертикальном. Плоскость разъема модели совпадает с осью поршня и осью отверстий для поршневого пальца. Высокая прибыль 1 обеспечивает получение плотной отливки (рис. 6.127, а). При заливке поршень обращен днищем книзу, благодаря чему в днище обеспечивается повышенная плотность материала.

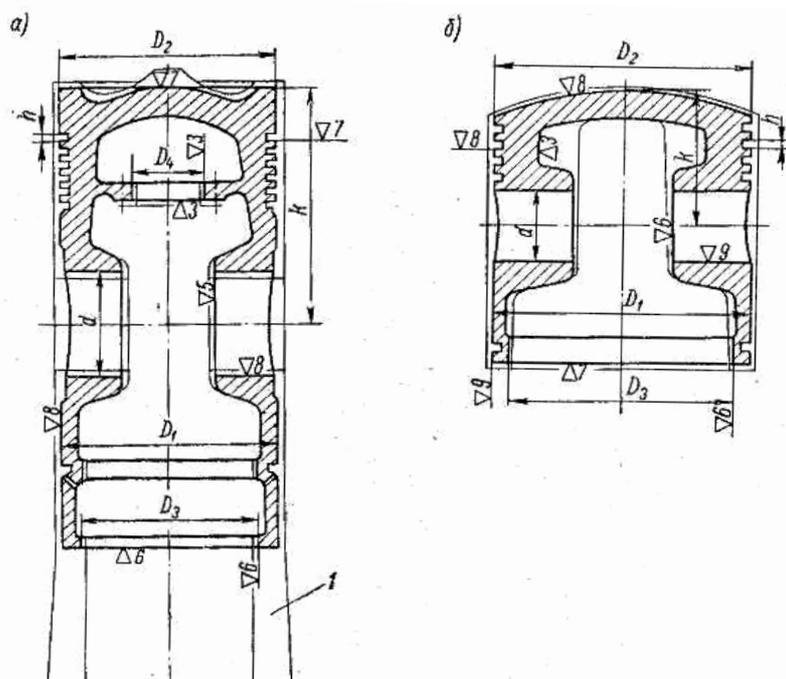


Рис. 6.127. Поршни:
а – литая заготовка; б – штампованная заготовка

В серийном производстве чугунных и алюминиевых поршней широко применяют литье в металлические формы (в кокиль), что в несколько раз повышает производительность; кроме того, уменьшаются припуски и повышается точность размеров. Внутренняя полость поршня обычно расширяется у днища. Для извлечения из затвердевшей отливки металлического центрального стержня, его выполняют составным и удаляют по частям.

Поршни из сплавов АК2 и АК4 изготавливают штамповкой (рис. 6.127, б). При штамповке непосредственно из слитка часто появляются трещины и ухудшается структура. Поэтому поршни штампуют из катаной или прессованной заготовки.

При изготовлении чугунных поршней для механических испытаний, структурного и химического анализов от каждой заготовки отрезают пробное кольцо и изготавливают образцы. Для средних и мелких алюминиевых поршней одну заготовку (отливку или штамповку) от каждой плавки разрезают на части и подвергают механическим испытаниям, макроструктурному и химическому анализам.

Днище поршня у легких двигателей, а также полости охлаждаемых поршней подвергают гидравлическому испытанию давлением 0,6...1,0 МПа.

К обработке тронковых поршней предъявляют следующие требования.

Координация поверхностей

1. Ось отверстия под поршневой палец должна быть перпендикулярна образующей поршня во избежание перекоса поршня в цилиндре. Допускаемое отклонение 0,1...0,15 мм на 1 м длины. При проверке по способу, приведенному на рис. 6.128, а, в поршень заводят контрольный валик, снабженный индикатором и упором 1, и наблюдают разницу в показаниях индикатора.

Другой способ предусматривает косвенную проверку (рис. 6.128, б). Поршень устанавливают на контрольную плиту торцом; в отверстие для пальца вставляют контрольный валик. По показаниям индикатора проверяют параллельность оси отверстия плоскости торца. Этот метод предполагает наличие точной перпендикулярности между торцом и наружной поверхностью. Можно достичь такой перпендикулярности, если при обработке цилиндрической поверхности базой служит торец со стороны отверстия поршня.

Допускаемое отклонение при обоих методах должно быть пересчитано на длину l .

2. Ось отверстия под палец должна пересекать ось поршня. Смещение допускается в пределах 0,2...0,3 мм.

Схема проверки контрольным валиком 1, штихмасом и угольником 2 показана на рис. 6.128, в (в плане). Размеры их должны быть равны размерам a .

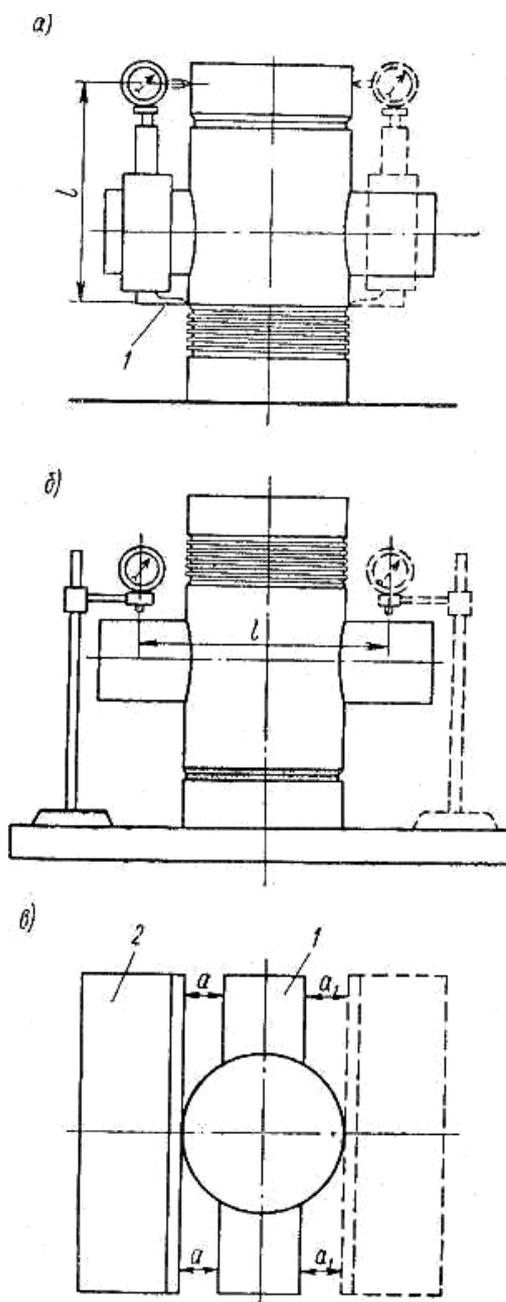


Рис. 6.128. Проверка координации поверхностей поршня

3. Боковые плоскости канавок для колец должны быть перпендикулярны образующей поршня. Допускаемое отклонение 0,02...0,03 мм. Проверка может быть осуществлена на станке или установкой поршня торцом на плиту и наблюдением за показаниями индикатора в разных точках канавки.

4. Контур днища поршня, если оно имеет фасонное очертание, должен быть выдержан с точностью 0,2...0,5 мм; проверка производится шаблоном.

Точность размеров

Диаметр направляющей части поршня D_t (см. рис. 6.127) выполняют с допуском S . Чтобы получить в горячем двигателе масляный зазор между направляющей частью и цилиндром, размер D_x должен быть меньше номинального диаметра цилиндра D на величину b : $b = (0,001...0,0013) D$ (для чугунных поршней) и $b = (0,0018...0,0025) D$ (для алюминиевых).

Верхняя часть поршня больше всего расширяется при нагреве, поэтому ее обрабатывают на конус или, что проще, делают меньшего диаметра.

Диаметр D_2 в самой верхней части поршня назначают на 1...3 мм меньше диаметра D . При цилиндрической форме на диаметр D назначают допуск $h7$.

Отверстия в приливах (бобышках) под поршневой палец выполняют с допуском 2 класса точности ($H7$), а для многооборотных двигателей – с допуском 1 класса. При плавающих пальцах для сопряжения с поршнем применяют систему вала. На гладкий поршневой палец назначают допуск $h6$, а на отверстие в бобышке алюминиевого поршня – допуск $H7$ (в горячей машине посадка переходит в подвижную из-за более высокого коэффициента расширения у поршня).

Чтобы удешевить производство, на детали узла поршень-палец-головка шатуна назначают иногда 2 класс точности и в многооборотных двигателях. Но для уменьшения колебаний в величинах установленных зазоров применяют принцип сборки по группам. Детали сортируют на 3 – 4 группы с допусками внутри группы порядка 10...5 мкм.

На высоту канавок для поршневых колец h назначают допуск 0,02...0,035 мм (в зависимости от размера), что соответствует примерно 3 классу точности.

Зазоры по высоте между кольцами и канавками для верхних двух колец назначают несколько большими. Для удобства замены все кольца выполняют по высоте одинаковыми, верхние же канавки в поршне делают шире. Примерные (минимальные) значения зазоров между кольцами и поршнем по высоте: верхние канавки 0,15...0,2 мм, нижние – 0,08...0,12 мм. Размер k от оси отверстия под палец до торца днища для двигателей без прокладок, регулирующих степень сжатия, выполняют с допуском $\pm 0,1$ или $\pm 0,05$ мм.

На диаметр внутреннего пояска D_3 у открытого торца назначают технологический допуск $H8$, иногда даже $H7$; на внутренний поясок у камеры охлаждения назначают допуск $H9$. Отклонения в толщине днища и разностенность поршня допускают до 0,5 мм.

Колебания в весе поршней легких многооборотных двигателей задают в определенных пределах, обычно 1%.

Шероховатость поверхностей

С высоким классом чистоты обрабатывают:

а) наружную цилиндрическую поверхность – 8 или 9; нанесение покрытий, например, лужение, позволяет снизить класс чистоты обработки до 7 и даже 6;

б) отверстия под палец – 9; рабочая поверхность пальца – 10 – 11;

в) плоскости канавок для колец – 7 или 8;

г) наружную поверхность днища 7 – 8 (для повышения стойкости против коррозии, эрозии и нагарообразования).

В некоторых конструкциях поршней тронковых дизелей приливы с отверстиями для поршневого пальца отсутствуют. Палец размещают в особой проставке, присоединяемой к внутреннему торцу днища. Плоскость этого торца должна быть обработана строго перпендикулярно к оси поршня.

При составном поршне то же требование предъявляют к плоскостям соединения головки и направляющей части поршня, а у поршня крейцкопфного дизеля – к плоскости соединения с фланцем штока.

В табл. 6.16 приведен план обработки чугунного поршня с примерными размерами: диаметр 400...500 мм, длина 700 – 800 мм. Первоначальную разметку выполняют с укладкой поршня вначале на призмы (в двух положениях, через 90°), а затем с установкой его на днище. Исходя из расположения внутренних стенок и дна наносят продольные и поперечные риски. Намечают центровое отверстие.

Обработку поршней начинают обычно с черновой обточки наружной поверхности и днища, т.к. желательнее как можно раньше выявить отсутствие раковин, трещин и других дефектов материала.

Поршень крепят кулачками за прибыль и поддерживают задним центром (рис. 6.129, а).

Прорезают начерно канавки для колец. На этой же операции отрезают прибыль и пробное кольцо для проведения испытаний. На чистовую обточку оставляют припуск 2 – 2,5 мм на сторону. Для черновой расточки внутренних поясков и подрезки нижнего торца поршень устанавливают в четырехкулачковый патрон (рис. 6.129, б) и поддерживают люнетом. Затем на карусельном или расточном станке начерно растачивают отверстие в бобышках под палец и подрезают плоскости бобышек внутри поршня.

Таблица 6.16

Маршрут обработки поршня в мелкосерийном производстве

Материал – чугун СЧ 24. Заготовка – отливка

№ оп.	Содержание операции	Оборудование	Базы	Оснастка
1	Фрезеровать торец центральной бобышки как чисто	Горизонтально-расточной	Наружные черновые поверхности	Призмы установочные
2	Проверить отливку; разметить под обработку	Плита контрольная	Внутренние необрабатываемые поверхности	Призмы контрольные
3	Зацентрировать	Радиально-сверлильный	Риски разметочные	Тиски машинные
4	Обточить начерно; прорезать канавки под кольца уплотнительные; отрезать прибыль и пробное кольцо	Токарно-винторезный	Риски разметочные; центровое отверстие	Патрон четырехкулачковый; центр передний; шаблон на канавки
5	Расточить внутренние пояски начерно; подрезать торец; подрезать внутренний фланец	Токарно-винторезный	Наружная поверхность	Патрон четырехкулачковый; люнет
6	Расточить отверстие под поршневой палец начерно	Токарно-карусельный	Наружная поверхность; литое отверстие под палец	Призмы установочные; палец центрирующий конусный
7	Термообработка. Нагрев до 500° со свидетелем в течение 4 ч; выдержка 6 ч; охлаждение с печью 10 ч до 150°; проверка твердости свидетеля (НВ 190 – 230)	Печь. Термический цех		
8	Расточить внутренние пояски начисто; подрезать торец; подрезать внутренний фланец	Токарно-винторезный	Наружная поверхность	Патрон четырехкулачковый; люнет
9	Обточить наружную рабочую поверхность начисто; проточить канавки; проточить камеры сгорания	Токарно-винторезный	Внутренний пояс и торец	Центрирующий диск; тяга и палец; поперечный копир

10	Расточить отверстие под поршневой палец начисто с припуском под алмазную расточку; подрезать торцы	Токарно-карусельный	Наружная поверхность; отверстие под палец	Призмы установочные; палец центрирующий конусный
11	Сверлить отверстия на фланце внутри поршня	Радиально-сверлильный	Верхний торец	Кондуктор
12	Испытать гидравлически полость охлаждения под давлением	Стенд испытательный $P = 0,6 \text{ МПа}$		
13	Сверлить отверстия в канавках для маслоъемных колец	Радиально-сверлильный	Наружная поверхность	Кондуктор
14	Шлифовать рабочую поверхность	Круглошлифовальный	Внутренний пояс и центр	Центрирующий диск; поводок
15	Обрезать центровую бобышку	Токарно-винторезный	Внутренний пояс и торец	Центрирующий диск; тяга и палец
16	Алмазная расточка отверстия под палец	Алмазнорасточной	Верхний торец и предварительно расточенное отверстие	Приспособление

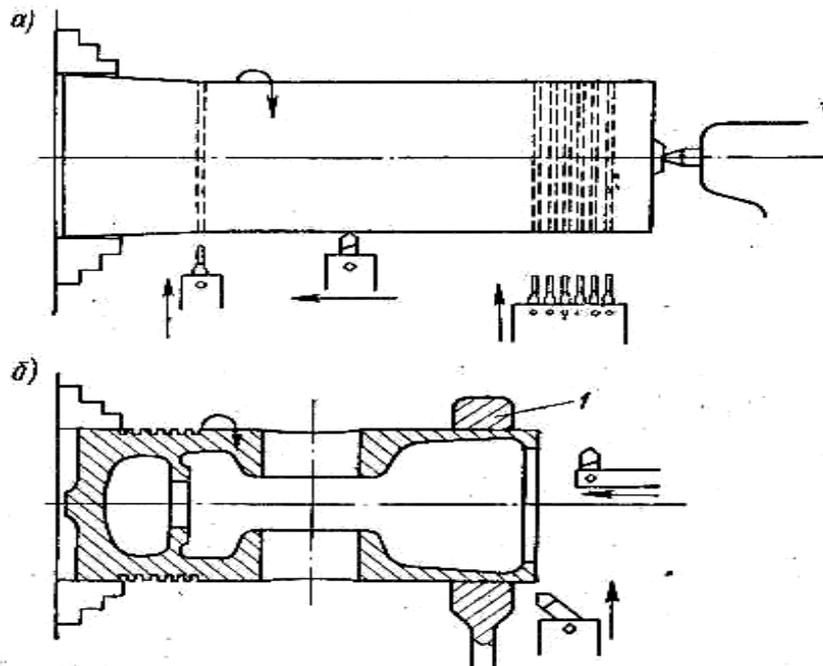


Рис. 6.129. Черновая обточка и расточка поршня большого размера

После термообработки окончательно растачивают внутренний поясок и подрезают прилегающий к нему нижний торец поршня. Эти поверхности используются как установочная база для ряда последующих операций.

Чистовую обточку наружной поверхности, канавок и днища ведут на токарно-винторезных или токарно-многолезцовых станках (рис. 6.130). Упомянутая установочная база очень удобна для выполнения всей наружной обработки с одной установки.

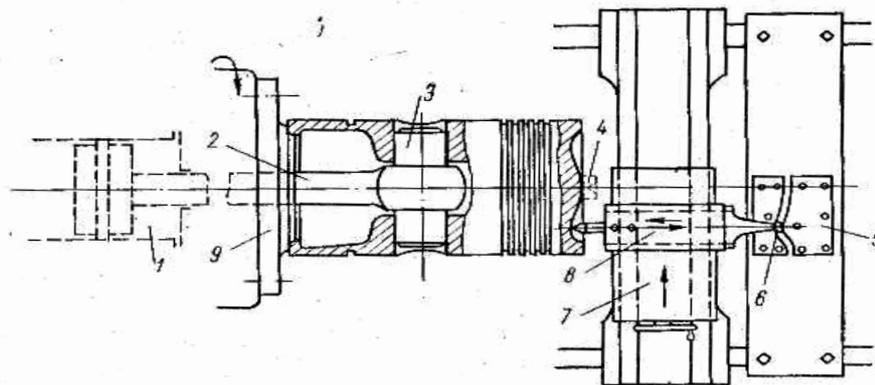


Рис. 6.130. Чистовая обточка поршня

Поршень ориентируют на центрирующем диске 9 через отверстие в бобышках пальцем 3 и тягой 2 и закрепляют с помощью пневматического цилиндра 1. Фасонное днище обтачивают посредством поперечного копира 5, закрепляемого на станине станка. Верхний суппорт 8 отключен от самохода и роликом 6 связан с копиром; при включении самохода поперечного суппорта 7 верхний суппорт 8 описывает кривую в соответствии с профилем копира.

Длинные поршни для устойчивости и устранения вибраций поддерживают еще и задним центром. Для согласования с установочной базой (нижним торцом поршня и внутренним пояском) в начале операции исправляют центровое отверстие в бобышке 4.

Наиболее технологична плоская форма днища. Если днище имеет сферическую выпуклую или вогнутую форму, проточка может быть выполнена без копира по простой схеме (рис. 6.131). Верхние салазки суппорта 1 освобождают от продольного самохода и связывают тягой 2 с неподвижной передней (или задней) бабкой. Тяга 2 имеет ось вращения. Длина тяги равна радиусу сферы днища, поэтому при включении поперечного самохода суппорта верхние салазки, а вместе с ними и резец 3 перемещаются по дуге требуемого радиуса.

Чистовую проточку канавок для колец выполняют набором калибрующих резцов с малой поперечной подачей (~0,05 мм/об), обеспечивая таким образом высокую точность и чистоту поверхности.

Для чистовой расточки отверстия под палец и окончательной подрезки приливов используют карусельный станок.

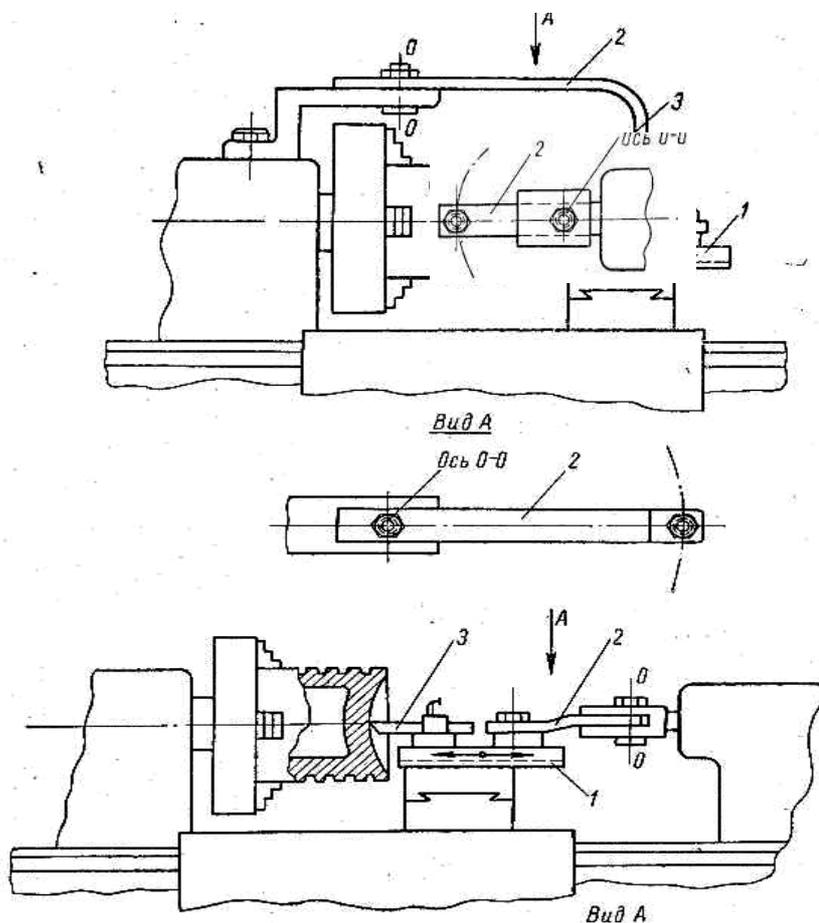


Рис. 6.131. Обточка сферического днища

Окончательную обработку наружной поверхности производят на круглошлифовальной станке (рис. 6.132). В поршнях современных дизелей избегают размещать отверстия для рымов в днищах, чтобы не создавать концентрации напряжений. Вместо болта упором для поводка 1 служит магнитный патрон 2, приставленный к днищу.

В этой же операции зачищают торцом абразивного круга кольцевую плоскость на верхнем торце поршня: исправляют установочную базу для расточки отверстия под палец.

Отверстие под палец отделяют тонким точением. Установочной базой служит шлифованная кольцевая плоскость на верхнем торце поршня

(рис. 6.133). Правильное положение поршня по отношению к шпинделю станка достигается конусным установочным пальцем, выдвигаемым из угольника 2. Соблюдение размера k обеспечивается точной установкой шпинделя по высоте. Иногда для отверстия под палец применяют тонкое шлифование, используя планетарно-шлифовальный станок.

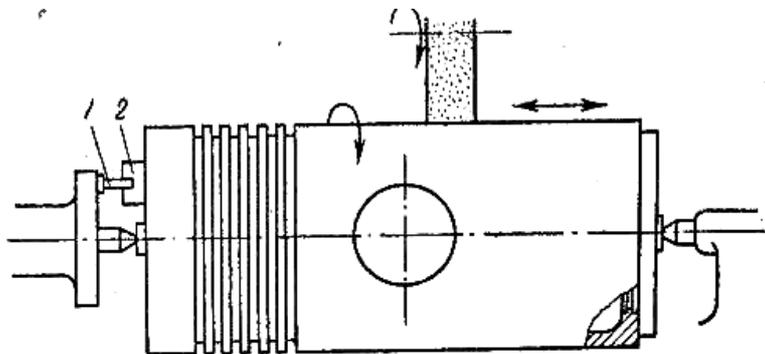


Рис. 6.132. Шлифование рабочей поверхности

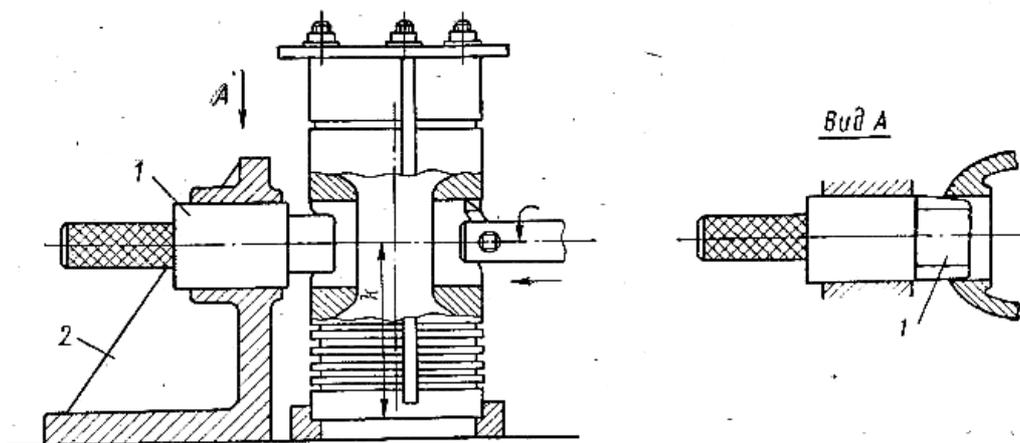
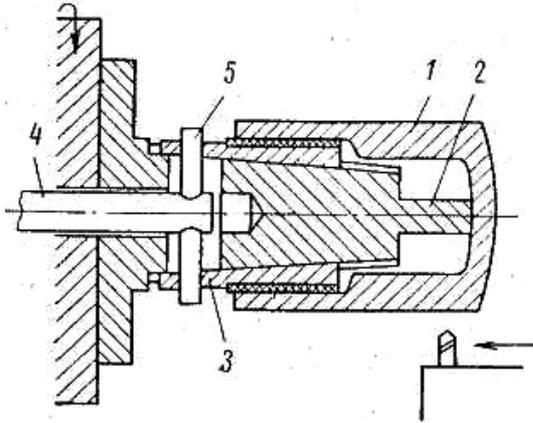


Рис. 6.133. Тонкое (алмазное) растачивание

Обработка поршней небольших размеров из алюминиевых сплавов для крупносерийного производства характеризуется большим количеством приспособлений и отсутствием разметки.

Начинают обработку с черновой обточки и подрезки днища. Поршень устанавливают на разжимную оправку, которая центрирует его по внутренним черным поверхностям (рис. 6.134). Продольное положение поршня 1, а следовательно, и толщина его днища, определяется упором 2 на торце оправки. Поршень доводят до упора. При включении пневматического устройства шток 4 передвигается влево. Штырь 5 перемещает два кулачка 3 по наклонным плоскостям, и деталь закрепляется. Кулачки имеют снаружи насечку.

Рис. 6.134. Черновая обточка и подрезка торца



Черновую расточку пояска (с технологическим допуском $H12$) и подрезку торца производят с установкой детали в самоцентрирующий патрон. Зажим детали дном в патрон с установленным в нем разрезным кольцом не представляет опасности в смысле появления деформаций.

Отверстие под поршневой палец в штампованных поршнях приходится первоначально высверливать. При установке в кондуктор (рис. 6.135) в качестве базирующих поверхностей используют: внутренний поясok, торец и поверхности бобышек.

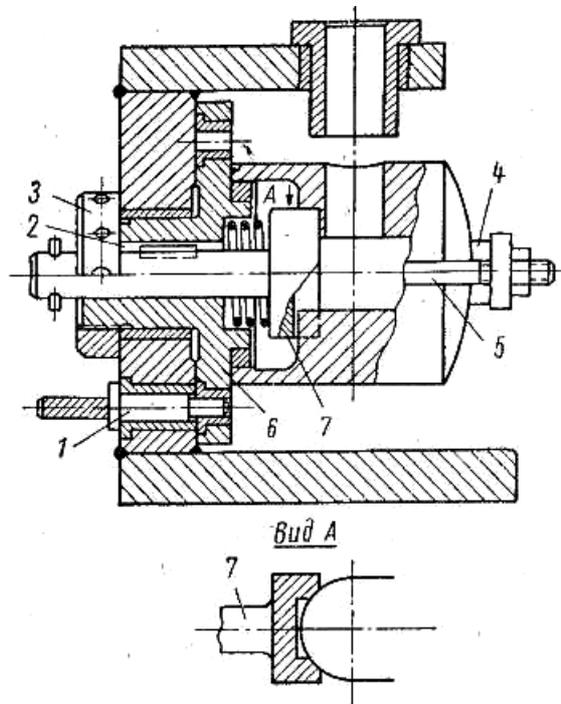


Рис. 6.135. Сверление отверстия под палец

Вильчатый стержень 7 под действием пружины скользит по шпоночному пазу 2 и, соприкоснувшись с бобышками, придает поршню правиль-

ное угловое положение. Таким образом обеспечивается равенность бобышек поршня.

Чтобы устранить увод сверла и избежать неравномерности припусков на последующую расточку, бобышки сверлят последовательно с двух сторон. Поршень крепят к поворотному диску планкой 4 и болтами 5, расположенными снаружи. Для сверления отверстия во второй бобышке ослабляют гайку 3, отводят фиксатор 1 и поворачивают диск 6 с закрепленным на нем поршнем на 180° .

Предварительную проточку днища и прорезку канавок производят с той же установочной базы, т.е. с внутреннего пояска и торца. Поршень закрепляют обычным способом – через отверстие для пальца.

После черновой обработки поршень подвергают закалке и искусственному старению.

После черновой обработки поршень подвергают закалке и искусственному старению.

Чистовой цикл операций после термообработки начинают с расточки внутреннего пояска (с допуском $H7$) и подрезки прилегающего торца; создается постоянная установочная база почти для всех дальнейших операций.

Получистовую обточку боковой поверхности, канавок и днища выполняют на многорезцовых токарных станках с закреплением поршня, как показано на рис. 6.136. Для точения канавок, как и при черновой прорезке, используют набор резцов.

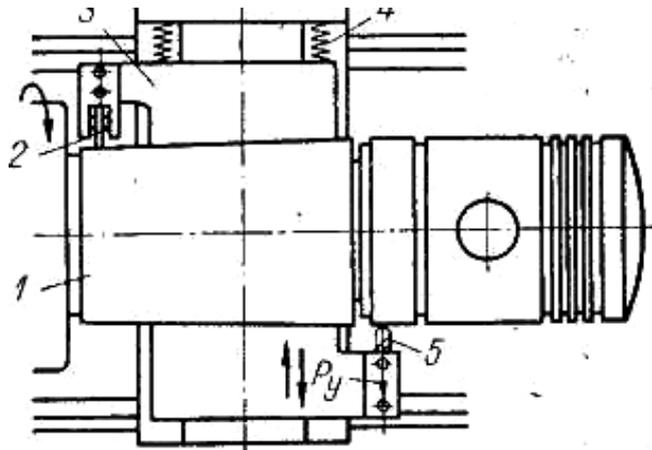


Рис. 6.136. Получистовая обточка

Предварительную расточку отверстия под палец и подрезку бобышек изнутри производят на расточных станках, а также на токарных с установкой детали на угольник. Чистовая обточка с окончательной проточкой днища аналогична получистовой обточке (отличие – в режимах резания).

После чистовой обточки поршня и фрезерования карманов на днище испытывают гидравлически непроницаемость днища давлением 1 МПа; отверстие под палец заглушается. После сверления по кондуктору маслоотводящих каналов окончательно отделяют боковую поверхность методом тонкой обточки. Обеспечивая высокую точность и чистоту, тонкая обточка для отделки алюминиевых поршней более производительна, чем шлифование. Кроме того, боковая поверхность поршней часто имеет конусно-овальную форму и сложна для обработки шлифованием. Точение такой поверхности ведут по копиру на быстроходном токарном станке. Копир надевают на шпиндель. Ролик, связанный с суппортом, прижимается к копиру пружинами, а также радиальной составляющей P_r усилия резания, действующего на резец.

Припуск на отделку (порядка 0,2 – 0,3 мм на сторону) снимают в два прохода. Последний проход выполняют алмазным резцом, дающим чистую поверхность, без надиров и следов течения металла. Поддачи равны 0,02...0,04 мм/об при скоростях резания 500...600 м/мин. Поршень закрепляют тягой и пальцем. Угловое положение поршня относительно копира определяется положением пальца. Настраивая резец на окончательный размер, учитывают температуру помещения и при необходимости вносят соответствующую поправку.

Окончательную отделку отверстия под палец ведут на тонкорасточных станках, обычно горизонтальных, одно-, двух- и многошпиндельных. Установочной базой служат нижний торец и внутренний поясok. Алмазные резцы обеспечивают 1-й класс точности и 9 класс чистоты ($H6$; $Ra0,32$).

Для подгонки поршней по весу металл чаще всего снимают с внутренних поверхностей на фрезерных станках. Специальное электромагнитное устройство автоматически выключает станок после снятия заданного количества металла, падающего на чашку весов.

Огневые полости поршней, в т.ч. стальных и чугунных, часто имеют сложную конфигурацию. Ручное полирование этих поверхностей и скругление кромок в местах сопряжения сферических, конических и других поверхностей малопродуктивно. Эффективно использование электрохимической размерной обработки. Инструмент-катод (обычно, из латуни) имеет конфигурацию, зеркально отображающую поверхность огневой полости поршня (анода). В местах наименьшего зазора между электродами плотность тока наибольшая и металл с анода растворяется интенсивнее. В результате форма обрабатываемой поверхности, постепенно меняясь, копирует форму инструмента.

Чтобы избежать пассивирования анода образующимися продуктами растворения, их удаляют, непрерывно прокачивая через зону обработки электролит под давлением ~ 0,5 МПа.

6.13. Изготовление рычагов и вилок. Служебное назначение конструктивные особенности

Рычаги, коромысла, собачки, прихваты и другие подобные детали являются кинематическими звеньями механизмов машин, приборов и технологической оснастки и принадлежат к деталям типа рычагов. Рычаги, совершая качательное или вращательное движение, передают необходимые силы и обеспечивают заданные законы движения сопряженных с ними деталей. Для достижения определенного положения рычага 1 (рис. 6.137, *а, б*) при повороте его базирование в механизме осуществляется по двойной направляющей базе – цилиндрическому или коническому посадочному отверстию 5, иногда шлицевому (рис. 6.137, *в*). Другие цилиндрические и резьбовые отверстия 4 (рис. 6.137, *а – е*), оси которых параллельны (рис. 6.137, *г – е*) или перпендикулярны (рис. 6.137, *а, б*), оси отверстия 3 служат вспомогательными базами и обеспечивают базирование присоединяемых деталей механизма. Для закрепления этих деталей и самого рычага 1 (рис. 6.137, *г*), часто предусматривают пазы для стяжки рычага крепежными деталями. С помощью торцов 5 рычагов обеспечивается его осевое положение. Поскольку рычаг не воспринимает значительных осевых нагрузок, то достаточно, чтобы один из его торцов был опорной базой. Однако в процессе работы механизма неизвестно, каким из торцов рычаг будет поджиматься и базироваться по сопряженным деталям, поэтому обрабатывают оба торца. Обеспечение перпендикулярности этих торцов оси отверстия 3 предотвращает заклинивание рычага при его покачивании во время работы.

Для создания определенности базирования и закрепления рычага 1, в осевом и угловом положениях необходимо поперечное отверстие 6 для крепежной детали. Ряд рычагов для воздействия на сопряженные детали имеет исполнительные поверхности 2 (рис. 6.137, *а – в*) криволинейной формы. Различают вилки двух видов: вилки переключения и вилки шарнирных соединений. Вилки переключения 8 (рис. 6.137, *ж*) предназначены для изменения кинематических и динамических связей машин путем осевого возвратно-поступательного передвижения муфт, зубчатых колес и других подобных деталей. Такие вилки 5 с обеих сторон имеют плоские исполнительные поверхности 10, посредством которых при переключении передачи достигается контакт с сопряженными деталями с одной стороны вилки 8 по всем поверхностям 10. Для обеспечения минимального перекоса вилки 8 ее нужно базировать в механизме по основной базе – высокоточному отверстию 3 по двойной направляющей базе. Для этого вилка 8

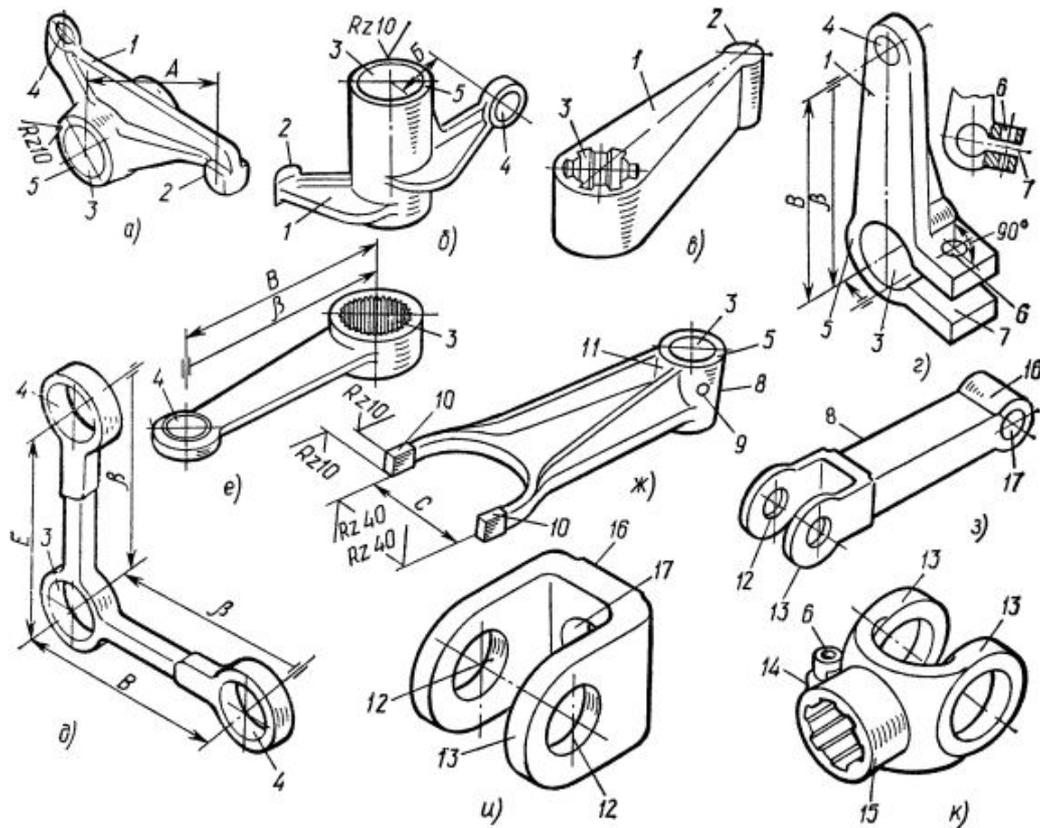


Рис. 6. 137. Конструкции рычагов и вилок

должна иметь бобышку 11 значительной длины. Чтобы вилка 8 могла выполнять свое служебное назначение, ее исполнительные поверхности должны быть перпендикулярны к оси отверстия 3. Базирование и закрепление вилки 8 в угловом и осевом положениях осуществляются посредством отверстия 9, расположенного в бобышке так, что его ось перпендикулярна к оси отверстия 3. Вилки шарнирных соединений подвижных деталей машин (см. рис. 6.137, з – к) для выполнения ими служебного назначения снабжают ушками 13 с соосными обычно цилиндрическими отверстиями 12 для базирования по двойной направляющей базе соединительных шарнирных осей. Базирование самой вилки 8 также производится по двойной направляющей базе по хвостовику 15 (см. рис. 6.137, к) с шлицевой, резьбовой, конической или цилиндрической наружной или внутренней поверхностью либо по бобышке 16 с отверстием 17 (см. рис. 6.137, и), ось которого перпендикулярна к осям отверстий 12 в ушках 13 (см. рис. 6.137, и, к) или параллельна им (см. рис. 6.137, з). Эти вилки обычно закрепляются на деталях благодаря упругой деформации хвостовика 17 (см. рис. 6.137, к) при затяжке резьбовых деталей в отверстии 6 бобышки 14. Для увеличения упругой податливости в вилке часто прорезают паз шириной

($4 \pm 0,2$)...($6,5 \pm 0,2$) мм с параметром шероховатости поверхностей Rz 40 мкм. Особенность конструкции поворотных кулаков заключается в том, что соосные отверстия, подобные отверстиям 12 вилок шарнирных соединений (см. рис. 6.137, κ), расположены, как правило, не под прямым углом к оси конического хвостовика с цилиндрическими посадочными ступенями под подшипники.

6.13.1. Технические требования к рычагам и вилкам. Материалы и способы получения заготовок рычагов и вилок

В зависимости от служебного назначения детали ее отверстия, служащие основными и вспомогательными базами, должны быть изготовлены в пределах допусков $H6 - H11$, а отклонения межосевых расстояний не должны превышать $\pm(0,05...0,50)$ мм. Оси отверстий для вспомогательных баз детали должны быть параллельны или соответственно перпендикулярны оси отверстия – основной базе; допустимые отклонения от $0,02 : 100$ до $0,10 : 100$.

Для обеспечения прилегания торцов бобышек рычагов и вилок шарнирных соединений к сопряженным деталям и снижения контактных напряжений эти торцы должны быть перпендикулярны к осям соответствующих отверстий; допустимые отклонения от $0,1 : 100$ до $0,3 : 100$, а параметр шероховатости их поверхности $Ra = 0,32...1,25$ мкм. Исполнительные поверхности рычагов переключения для обеспечения требуемого сопряжения с поверхностями передвигаемых деталей должны быть перпендикулярны к оси отверстия – основной базе; допустимые отклонения от $0,05 : 100$ до $0,10 : 100$, а параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,63...2,5$ мкм; для рычагов – коромысел клапанов – от $Ra = 0,63$ мкм до $Rz = 40$ мкм. Параметр шероховатости поверхности отверстий $Ra = 0,63...2,5$ мкм, а отклонение от их формы – обычно в пределах допуска на диаметр. Для увеличения срока службы твердость исполнительных поверхностей этих деталей устанавливают HRC 40-50...50-55.

В качестве материалов для рычагов и вилок, не подвергающихся в машине ударным нагрузкам, значительному растяжению и изгибу, служат недорогой и прочный серый чугун СЧ 12 – СЧ 18, для деталей, работающих в более тяжелых условиях и испытывающих большие напряжения, используют более прочный и дорогой чугун СЧ 21 – СЧ 24, а при значительных ударных нагрузках – ковкий чугун КЧ 35-10, КЧ 37-12 и др. Применяют также Ст5 и конструкционные стали 20, 35, 45, 40Х, сталь 18ХГТ (поковки), сталь 45Л-1 (штампованные заготовки), стали

35Л, 45ЛШ (отливки) и др. Чугунные заготовки обычно отливают в опоки в разовые песчаные формы, отформованные на машинах большей частью по металлическим моделям. Применение машинной формовки снижает трудоемкость изготовления деталей по сравнению с ручной формовкой в 10 раз и более, т.к. достигается более высокая производительность; улучшается качество заготовок – снижаются припуски на их последующую обработку.

Формовочные машины, литейные и транспортные конвейеры, оборудованные для приготовления смесей, формования, сушки и транспортирования стержней обычно легко переналаживаются на изготовление других заготовок путем замены модельной оснастки. Заготовки из ковкого чугуна после отливки отжигают и правят для снижения остаточных напряжений и деформаций. Малые допуски на размеры и шероховатость поверхностей $Rz\ 20...Rz\ 40$ достигаются отливкой заготовок в оболочковые формы. Это облегчает последующую механическую обработку заготовки, тем более что она не будет иметь включений, раковин и трещин. Стальные заготовки рычагов и вилок также получают литьем в оболочковые формы, а также ковкой, штамповкой, литьем по выплавляемым моделям, которое целесообразно использовать в массовом производстве сложных небольших отливок массой до 3 кг, когда ряд их поверхностей не требует последующей обработки, т.к. параметр шероховатости их поверхности $Rz\ 10...Rz\ 20$, а допуски на размеры и припуски на обработку других поверхностей не превышают 0,2...0,7 мм на сторону. Для получения небольшого числа стальных заготовок используют молоты, фрикционные и кривошипные прессы с подкладными штампами. При больших масштабах производства экономичнее штамповка в открытых и закрытых штампах. Штамповку в крупносерийном и массовом производстве ведут на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах.

6.13.2. Технологические процессы изготовления деталей типа рычагов

Технологические маршруты изготовления деталей, подобных коромыслу клапана автомобиля. При массовом изготовлении деталей, подобных коромыслу клапана автомобиля (рис. 6.138, а), штампуемого из стальной заготовки марки 45Л, первой операцией является операция по обработке торца, служащего установочной базой для последующих операций. Целесообразно на этой операции одновременно обработать оба торца диаметром 28 мм с одной установки, чтобы обеспечить необходимую парал-

лельность торцов (рис. 6.138, б). Требования к точности расстояния между торцами невелики: $34,5_{-0,1}$ мм, а их $Rz = 0,63$ мкм, поэтому получить требуемое качество поверхностей можно как методом фрезерования, так и методом протягивания. В условиях массового производства коромысел клапанов экономичнее их изготовление на протяжном станке, поскольку производительность процесса будет выше, чем при фрезеровании. При вертикальном исполнении станка загрузка и выгрузка проще и удобнее, следовательно, производительность выше, независимо от того, будет ли загрузка осуществляться вручную или с помощью автоматических средств. Для дальнейшего повышения производительности целесообразно устанавливать и обрабатывать одновременно несколько заготовок, однако для этой цели потребуется использовать более дорогостоящие многоместные приспособления, например, двухместные (рис. 6.138, в). В качестве вспомогательного инструмента для протягивания двух торцов диаметром 28 мм в размер $34,5 \dots 34,4$ мм с допуском симметричности заготовки относительно торцов 17,2 мм можно использовать державку и плиты. Припуск на сторону около 0,5 мм. Скорость протягивания $v \approx 1,5$ м/мин, поэтому обеспечивается обработка за $T_o = 0,09$ мин. В качестве технологических баз для заготовки нужно использовать наружную поверхность бобышек диаметром 28 мм (двойная направляющая база) для облегчения последующего получения ее концентричности по всей длине относительно оси центрального отверстия, а двойной опорной базой должна быть будущая исполнительная поверхность коромысла клапана с тем, чтобы по возможности обеспечить расстояние 17,2 мм от торца бобышки до плоскости симметрии детали. Для выполнения следующей операции применяют агрегатно-сверлильный станок, т.к. необходимо получить центральное отверстие – технологическую базу (двойную опорную) для последующих операций (рис. 6.138, г). Далее следует выбрать технологические базы для данной операции. Принимают за установочную базу ранее обработанный торец бобышки диаметром 28 мм для обеспечения перпендикулярности к нему оси центрального отверстия. Двойная опорная база по наружной поверхности этой бобышки обеспечивает ее соосность с обрабатываемым отверстием. Большую концентричность поверхностей деталей обеспечить при обработке не удастся, поскольку в первую очередь следует выполнять лимитирующее техническое требование – соблюдение перпендикулярности оси обрабатываемого отверстия к торцам коромысла клапана. Иначе базировать нельзя, поскольку действующая осевая сила при сверлении непременно вызовет изменение любого другого принятого варианта базирования

ся также на вертикально-протяжном станке со скоростью 6 м/мин (рис. 6.138, д). Базирование заготовки – обязательно по торцу бобышки диаметром 28 мм (установочная база), т.к. действуют большие осевые нагрузки, кроме того, по протяжке (двойная опорная база); скрытая опорная база в угловом положении – в сечении, перпендикулярном к оси центрального отверстия. Приспособление – многоместное для обеспечения высокой производительности с шестью заготовками (число, кратное такту) и $T_o = 0,18$ мин на шесть штук. Возможна обработка центрального отверстия и методом зенкерования, причем этот переход можно выполнить на предшествующей операции, если предусмотреть специальную позицию. Во многих случаях это экономически оправдано, поскольку сокращается количество оборудования и необходимый для их обслуживания персонал. Контроль центрального отверстия – выборочный калибрами-пробками. Обработка бойка с $R10$ (см. рис. 6.138, а) возможна на высокопроизводительном горизонтально-протяжном станке непрерывного действия, например, 7582Н7; установка заготовок аналогична установке на предшествующей операции. Базирование заготовки – по торцу бобышки диаметром 28 мм (установочная база), центральному отверстию (двойная опорная база). Для обеспечения допуска параллельности (0,15 мм на длине 100 мм) образующей поверхности с $R = 10$ мм относительно оси центрального отверстия и получения заданной толщины бойка 4,5...5 мм предусматривается опорная база, реализуемая посредством призмы. Скорость протягивания 4 м/мин, а $T_o = 0,08$ мин. Можно получить заданную толщину бойка и методом фрезерования его фасонными фрезами. Целесообразность применения того или иного метода в конкретных условиях может быть установлена экономическим расчетом. Операцию по запрессовке втулки в центральное отверстие коромысла клапана нужно выполнять на вертикальном прессе (рис. 6.139), причем для достижения требуемой производительности необходимо одновременно собирать четыре комплекта.

Для соединения деталей по цилиндрическим поверхностям было бы желательно осуществить их базирование непосредственно по посадочным поверхностям по двойной направляющей базе. Однако конструктивное выполнение соединяемых деталей и значительная сила запрессовки (≈ 300 Н) все равно бы вызвали «неорганизованную» смену баз и привели бы к базированию их по торцам (установочный) и другим базам. Поэтому базируют коромысла клапанов по торцу бобышки диаметром 28 мм (установочная база) и цилиндрической оправке (двойная опорная база), а также по скрытой опорной базе, поскольку угловое положение детали не оказывает влияния на процесс запрессовки втулки. Втулка также базируется по торцу (установочная база), по внутренней ее поверхности (двойная опорная база) и скрытой опор-

ной базе. Коромысла клапанов 1 устанавливаются промышленным роботом или манипулятором на оправки 3 гидроцилиндров 10 и опоры 2. Поскольку действующие исполнительные устройства пресса не позволяют осуществить непрерывную подачу коромысел клапанов 1 из лотка, используют механизмы периодического движения. Аналогично подаются упругие втулки 6 в коническую втулку 4. При рабочем ходе траверса 11 вместе с оправками 7 подходит к плите 5, упругие втулки 6 сжимаются до диаметра отверстия во втулке 4. При этом размеры упругой детали 6 перед сборкой уменьшаются. Диаметральные размеры сжатой втулки 6, кольца или пальца находят как результат изменения длины окружности наружной поверхности упругой детали за счет ее паза (замка), заданной ширины.

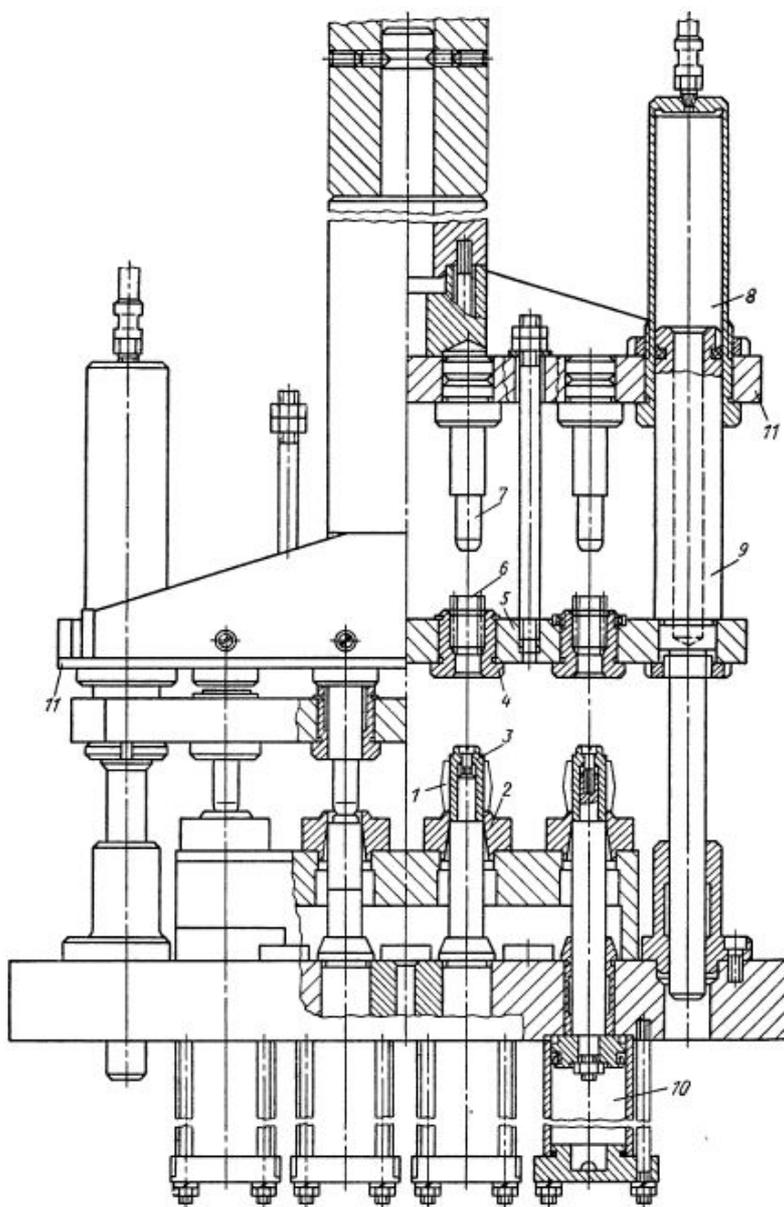


Рис. 6.139. Схема запрессовки втулок в коромысла клапанов

После запрессовки втулок 6 подается масло под давлением в гидроцилиндр 8. Давление на плунжер 9 вызывает подъем траверсы 11 плиты 5, после чего она возвращается в исходное положение, оправки 3 выводятся из отверстий коромысел клапанов 1 и могут быть заменены следующим комплектом деталей. Качество запрессовки упругой втулки контролируют по силе выпрессовки (не менее 400 Н). Прошивка отверстия диаметром 21,345...21,30 мм во втулке коромысла клапана 1 выполняется на вертикальном гидравлическом прессе со скоростью 5 м/мин за $T_0 = 0,09$ мин (рис. 6.140, а). Базируют коромысло клапана так же, как и на протяжной операции. Следующую операцию по обработке масляного канала и резьбового отверстия М9Х1 можно выполнять на четырехстороннем агрегатно-сверлильно-резьбовом станке барабанного типа (рис. 6.140, б). Базируют заготовку коромысла клапана по двойной направляющей базе – центральному отверстию для обеспечения требуемого расстояния от его оси до осей резьбового отверстия М9×1 и масляного канала. Центрирование призмой заготовки этой детали по $R = 8$ мм способствует расположению оси отверстия М9×1 в плоскости симметрии коромысла клапана. После установки шести заготовок на следующей второй позиции станка осуществляют зацентровку торца бобышки под резьбу М9×1 под углом 90° до диаметра 10 мм на глубину 6 мм сверлом, диаметром 11 мм при подаче 0,12 мм/об. со скоростью 12 м/мин. На третьей позиции цекуют торец бобышки под резьбу М9×1, выдержав ее высоту (11 мм) и расстояние (21,26...20,74) мм от торца до оси центрального отверстия. Режимы те же, что и на предыдущей позиции. Далее на четвертой позиции сверлят отверстие диаметром 4 мм в торце бобышки под резьбу М9×1 напроход с подачей 0,06 мм/об. под углом 50° к горизонтальной плоскости, выдержав расстояние 3,5 мм от центрального отверстия до точки пересечения с осью отверстия диаметром 4 мм. На пятой позиции сверлят в бобышке диаметром 16 мм отверстие диаметром 8 мм под резьбу М9×1 с подачей 0,1 мм/об., выдержав расстояние 28,3...27,7 мм от центрального отверстия. На шестой позиции нарезают резьбу М9×1 метчиком, соблюдая допуск перпендикулярности оси винтовой поверхности к торцу бобышки диаметром 16 мм не более 0,1 мм на всей высоте. Скорость резания 4 м/мин. Затраты времени по лимитирующей четвертой позиции $T_0 = 0,8$ мин на шесть штук. Во многих случаях экономически целесообразно объединить эту операцию с операциями по обработке центрального отверстия, причем протягивание заменить зенкерованием и развертыванием. Для этого может быть использован станок с десятипозиционным поворотным столом и вертикальными и наклонными силовыми головками. В качестве технологической оснастки

можно использовать приспособление, показанное на рис. 6.140, в. Базирование заготовок осуществляется по двойной направляющей базе по наружной поверхности коромысел клапанов 1 двумя ножевыми призмами 2, другие подвижные призмы 3 и 4 служат опорными базами и обеспечивают заданное положение оси резьбы М9×1 в плоскости симметрии заготовки. Требуемая точность расстояний между всеми отверстиями легко обеспечивается, поскольку обработка их поверхностей выполняется с одного устройства. Базированием заготовки по наружной поверхности бобышек диаметром 28 мм достигается их концентричность относительно оси центрального отверстия. Силовое замыкание каждой из заготовок производится от встроенного в корпус 14 приспособления пневмоцилиндра 12. При подаче сжатого воздуха под давлением в рабочую полость пневмоцилиндра 12 поршень 11 со штоком 10 начинает передвигаться. При этом ролик 9, сидящий на одной оси 7 с рычагами 8 и 6, перемещается вверх по кулачку 13, осуществляется закрепление заготовки рычагом 5. Закалка поверхности с R 10 мм (см. рис. 6.138, а) по контуру на длине 19...14 мм, глубиной не менее 2 мм с твердостью закаленного поверхностного слоя HRC 56-62 производится на закалочном полуавтомате ТВЧ на операции термической обработки. Там же уже в электрошахтной печи проводится низкотемпературный отпуск при температуре $150 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 1,5 ч. Шлифовальная операция по обработке с двух сторон торцов бобышек диаметром 28 мм (рис. 6.140, з) производится на плоскошлифовальном двухшпиндельном станке в сегментными кругами 2 и поворотным столом 3 с магнитной плитой. Базирование для обеспечения параллельности торцов – по противоположному торцу – установочной базе – и по скрытым базам. Для выполнения операции необходимо установить 48 заготовок, шлифовать торцы их бобышек диаметром 28 мм с одной стороны в размер 34,2...34,1 мм, снять, повторно установить и шлифовать торец с другой стороны в размер 34,0...33,83 мм. Скорость круга 40 м/с, скорость стола 20 м/мин, затраты времени на одну штуку 0,03 мин. Окончательная расточка центрального отверстия диаметром 22,03...22,02 мм и снятие фаски $0,5 \times 45^\circ$ во втулке выполняется с подачей 0,06 мм/об при $v = 250$ м/мин на вертикальном трехшпиндельном расточном станке. Затраты времени 0,24 мин на три штуки. Базирование для обеспечения перпендикулярности оси центрального отверстия к торцам бобышек диаметром 28 мм осуществляется по торцу (установочная база) и центральному отверстию (двойная опорная база) для обеспечения равномерного припуска в растачиваемом отверстии (рис. 6.140, д). Зачистка заусенцев в коромысле клапанов осуществляется путем оплавления при горении водородно-кислородной смеси. Шлифовальная

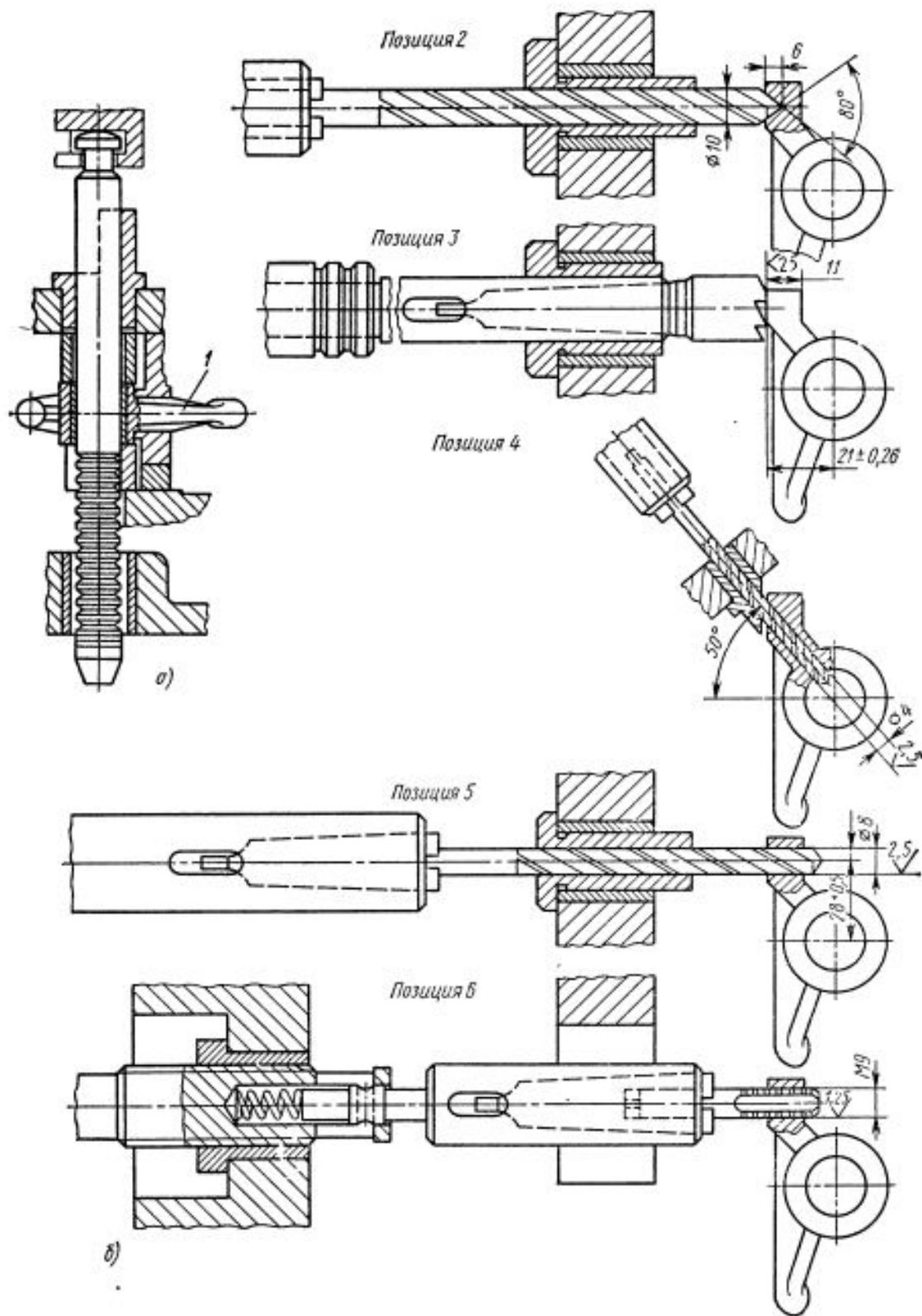


Рис. 6.140. Схемы обработки заготовок на завершающих операциях изготовления коромысел клапанов

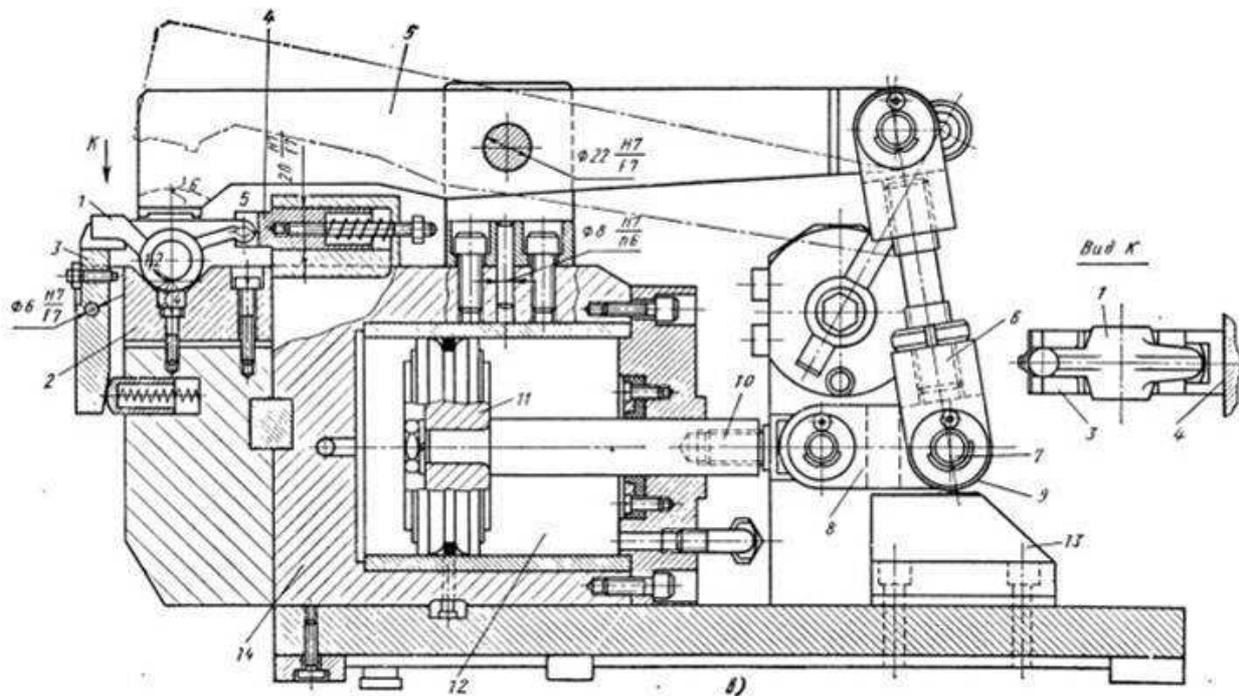


Рис. 6.140. Продолжение (см. также с. 263)

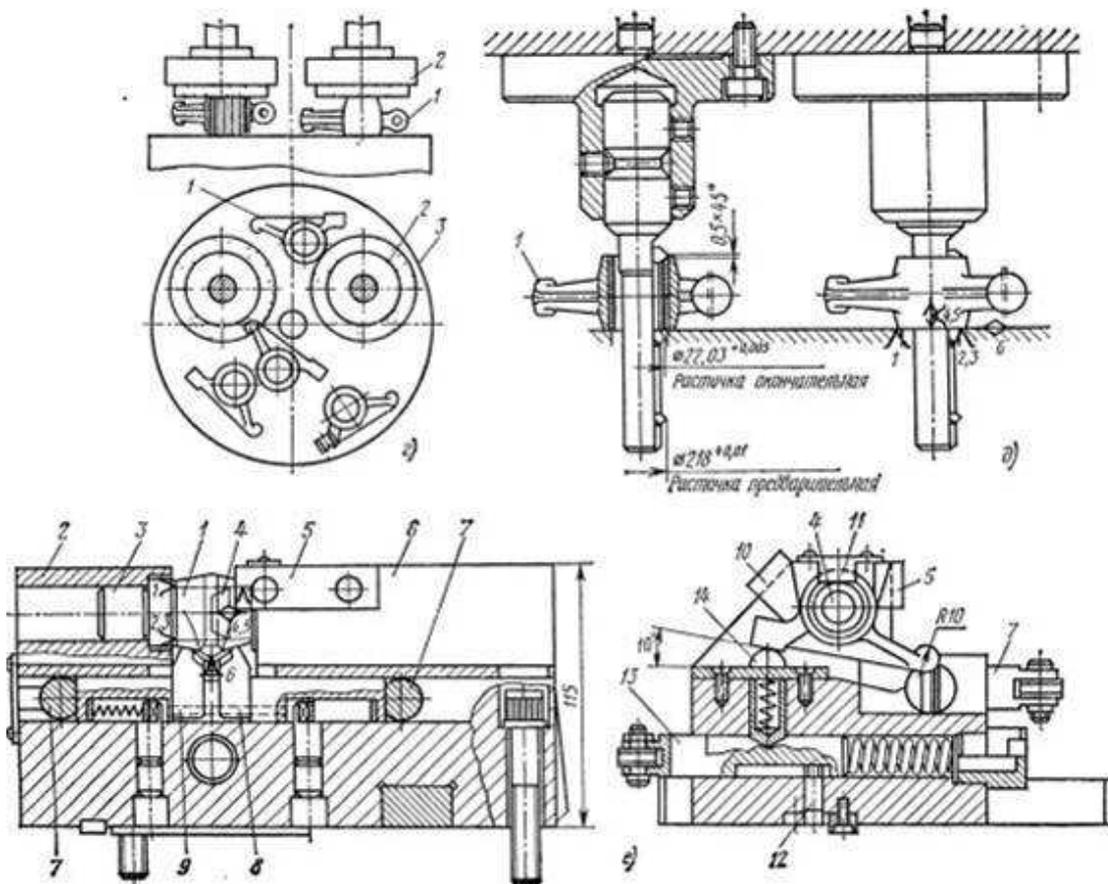


Рис. 6.140. Окончание (см. также с. 263)

операция по обработке поверхности с $R 10$ мм заготовки выполняется на специальном профильно-шлифовальном станке с продольным столом, совершающим 16 ходов в 1 мин. Подача 0,019 мм/дв. ход. Правку и профилирование дискового круга выполняют алмазным инструментом с помощью копирного устройства (рис. 6.140, *е*). При шлифовании поверхности с $R 10$ мм необходимо выдержать допуск параллельности образующих поверхностей диаметром 22,03...22,02 мм не более 0,15 мм на длине 100 мм, размер $42 \pm 0,3$ мм и параметр шероховатости поверхности $R_z = 4 \dots 6,3$ мкм. Базирование заготовки коромысла клапана на этой операции выполняется так же, как на протяжной операции при обработке поверхности с $R 10$ мм с тем, чтобы обеспечить равномерный припуск при шлифовании. Торцы бобышек диаметром 28 мм служат установочной базой, центральное отверстие – двойной опорной базой, а поверхность, противоположная поверхности с $R 10$ мм, – третьей опорной базой. В качестве приспособления можно использовать многоместные самоцентрирующие тиски, губки 2 и 6 которых снабжены ограничителями 5, 10 и 11 для направления заготовки 1 плоскими упорами 3 и коротким пальцем 4 для ее базирования и установки. Базирование заготовки 1 по плоскости ее симметрии в угловом положении выполняется путем центрирования двумя подпружиненными скобами 8 и 9 (образующими ножевую призму), перемещаемыми клиньями 7. Поджим к призме производится подпружиненной сферической опорой 14 от подпружиненного клина 13. Для сохранения углового положения каждого из клиньев 13 и 7 они снабжены продольными пазами, в каждый из которых входит головка установочного винта 12.

Технологический маршрут изготовления деталей, подобных вилке тяги. Обработка заготовки вилки (рис. 6.141, *а, б*) начинается с протяжной операции – обработки наружных торцов ушек (рис. 6.141, *в*) и прорезки паза вилки (если в заготовке его нет) или обработки внутренних поверхностей ушек. При малой серийности эти поверхности фрезеруют. Базируют заготовку по отверстию в хвостовике вилки и наружной его поверхности (если нет отверстия в заготовке) по двойной направляющей базе для получения заданного расстояния от базовой до обрабатываемых поверхностей. Центрировать заготовку предпочтительно по этой поверхности. Кроме того, должна быть опорная база по торцу хвостовика вилки для достижения заданного расстояния от этого торца до дна паза. Шестая опорная точка обеспечивает угловое положение и тем самым равномерный припуск на обработку поверхностей, параллельность которых достигается их обработкой за один установ. Реализуется эта схема базирования посредством специальных устройств. В некоторых случаях для достижения высокого каче-

ства вилок необходимо выполнять протягивание за несколько переходов (лучше – на вертикально-протяжных станках). Вначале обрабатывают наружные поверхности ушек у двух заготовок в размер $40_{-0,28}$ мм, а затем – внутренние в размер $15^{+0,17}$ мм со скоростью 8 м/мин при подъеме на зуб на 0,04 мм. Затраты времени на обработку одной заготовки 0,02 мин. Обработку отверстий в хвостовике и ушках вилок можно выполнить на агрегатно-сверлильном станке с поворотным шестипозиционным столом (рис. 6.141, з). На первой позиции осуществляется загрузка заготовок и выгрузка деталей, на второй – сверление отверстий диаметром 18 мм, на третьей – сверление отверстия диаметром 11 мм в хвостовике под резьбу, на четвертой – цекование торца хвостовика и зенкование фаски $2 \times 60^\circ$ под резьбу, на пятой – нарезка резьбы М12, а на шестой – развертывание отверстий в ушках диаметром $20^{+0,24}_{+0,12}$ мм. Базируют заготовку по наружной поверхности ушек (двойная направляющая база) с помощью двух ножевых призм для достижения соосности этой поверхности и обрабатываемых отверстий в ушках. Двойная опорная база по наружной поверхности хвостовика реализуется третьей призмой, средняя плоскость которой расположена перпендикулярно к средней плоскости двух ножевых призм и поэтому позволяет обеспечить соосность обрабатываемого отверстия в хвостовике относительно его наружной поверхности. Совместной обработкой отверстий в хвостовике и ушках вилки за один установ достигается перпендикулярность осей этих отверстий. Для выполнения перечисленных выше технологических переходов нужны вертикальные силовые головки для обработки торца и отверстия в хвостовике и горизонтальные – для обработки отверстий в ушках. В ряде случаев, особенно при наличии канавок в отверстиях ушек вилок и при необходимости подрезания их внутренних торцов, а также для снятия фасок с двух сторон в ушках, число позиций станка получается значительным и часто оказывается экономически целесообразным выполнять обработку отверстий в хвостовике и ушках заготовки вилки на отдельных станках. Тогда на первом станке производят обработку торца и отверстия в хвостовике заготовки вилки, базируя ее по наружной поверхности хвостовика по двойной направляющей базе для обеспечения соосности с обрабатываемым отверстием и перпендикулярности торца хвостовика к его оси. На втором станке заготовка базируется в приспособлении по одной из двух схем. Первую схему (рис. 6.141, д) выбирают при малом допуске соосности отверстий и наружных поверхностей ушек, вторую (рис. 6.141, е) – при малом допуске расстояния между торцом хвостовика и осями отверстий в ушках. Вторая схема базирования кроме того

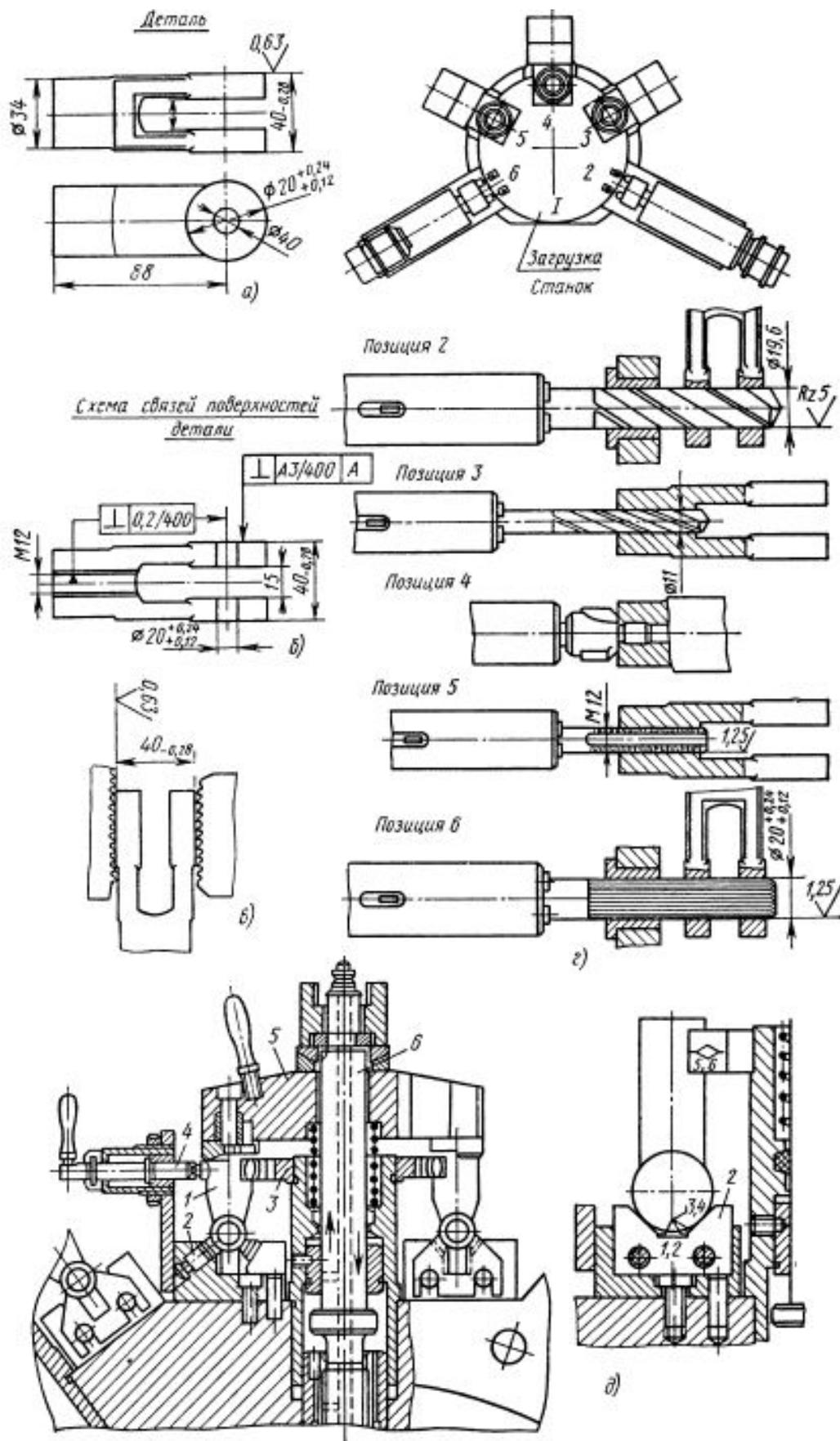


Рис. 6.141. Технологический маршрут изготовления деталей, подобных вилке тяги

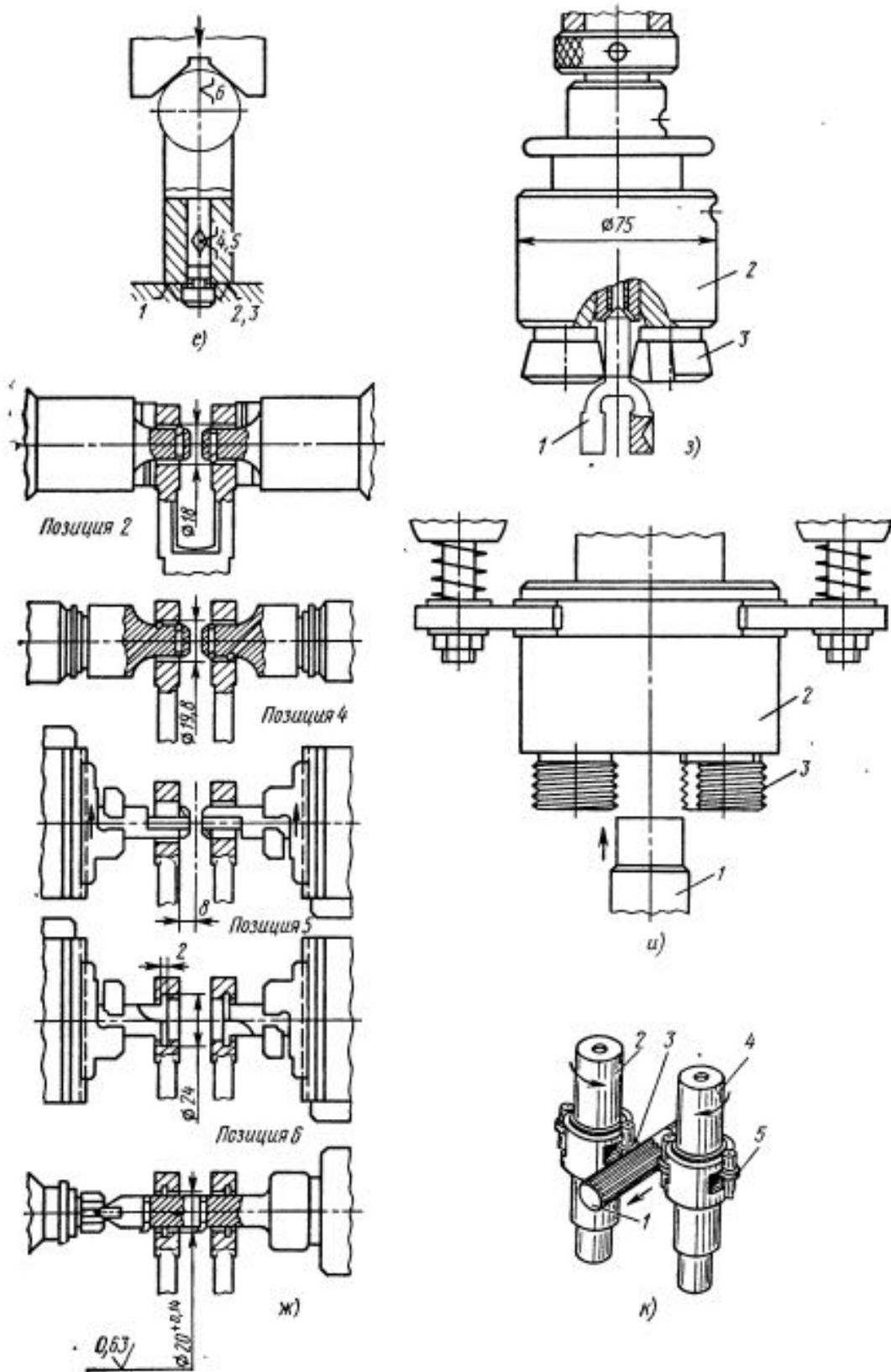


Рис. 6.141. Окончание (см. также с. 267)

обеспечивает параллельность осей отверстий в ушках по отношению к торцу хвостовика заготовки вилки тяги. При этом базировании торец вилки служит установочной базой, а отверстие в хвостовике – двойной опорной базой, угловое положение ушек (шестая опорная точка) обеспечивается призмой. Обработку отверстий в ушках заготовок вилок при значительных диаметральных размерах можно производить с двух сторон на агрегатном станке барабанного типа (см. рис. 6.141, ж). После загрузки заготовок на второй позиции производится расточка отверстий диаметром 20 мм в ушках в размер 18 мм, на третьей – их обработка зенкером диаметром 19,8 мм и снятие фасок $2 \times 45^\circ$, на четвертой – подрезание внутренних торцов, на пятой – прорезка канавок шириной 2 мм до диаметра 24 мм и на шестой – окончательная расточка отверстия диаметром $20_{+0,12}^{+0,24}$ мм с одной стороны. При базировании по схеме, показанной на рис. 6.141, д, используется многоместное приспособление, две призмы 2 которого служат для установки заготовки 7, а к третьей поджимается подпружиненным зажимом 4 ее хвостовик. Закрепление заготовок 1 производится прихватом 5 при перемещении тяги 6. Для обработки наружной поверхности хвостовика заготовки вилки и снятия фаски можно использовать монолитные или сборные головки 2 с гладкими дисковыми гребенками 3 с углом в плане $30 \dots 45^\circ$ (см. рис. 6.141, з). Применение самораскрывающихся головок предотвращает образование рисок на обработанной поверхности при выводе инструмента. Обтачивание с использованием кондукторных втулок для направления инструмента обеспечивает точность по 8-9-му квалитетам точности, без направляющих средств – по 12-му квалитету. Для снятия фаски в центральное отверстие головки устанавливают зенковку. Для получения резьбы на наружной поверхности вилки 1 можно использовать винторезные головки 2 с дисковыми гребенками 5, которые широко применяют на сверлильных и агрегатных станках (см. рис. 6.141, и). Достоинство винторезных головок – широкий диапазон нарезаемых резьб, возможность изменения их среднего диаметра и раскрытие головки в конце рабочего хода, что сокращает затраты машинного времени. Кроме того, геометрические параметры дисковых гребенок можно легко изменять в зависимости от материала заготовки. Срок службы гребенок велик, т.к. их можно многократно заточивать. Наиболее производительным процессом, обеспечивающим высокое качество резьбы, является накатывание. Накатывание возможно на заготовках из пластичного материала с относительным удлинением $\delta > 8\%$ и пределом прочности $\sigma_s < 800$ МПа. При $\sigma_s > 1000$ МПа и HRC 32, стойкость инструмента значительно ниже, чем для менее прочного материала. Накатывание резьбы возможно с радиальной, тангенциальной или осевой подачей. Шлицы

на наружной поверхности вилки могут быть получены накатыванием с осевой подачей, осуществляемой двумя головками 2 и 4 с установленными на них накатными роликами 3 и 5 (рис. 6.141, к). Профиль роликов соответствует форме впадины между шлицами на готовой детали. При накатывании головки вращаются в противоположных направлениях, а ролики периодически многократно ударяют по заготовке 1 с частотой 800...1600 мин⁻¹. Вследствие этого и поступательного перемещения заготовки формируется впадина требуемой формы. Диаметр заготовки перед накатыванием должен быть меньше диаметра готовой детали приблизительно на высоту выступов шлицев. Отклонение диаметра заготовки не должно превышать 0,05...0,10 мм, а ее радиальное биение должно быть меньше 0,03...0,06 мм. Материал заготовки может быть пластичным с $\delta > 9\%$, $\sigma_s < 1000$ МПа и HRC < 28. В результате пластического деформирования твердость увеличивается на 5 – 8 единиц. Отклонение от направления эвольвентных шлицев с $z = 20$, $m = 2,5$ мм, $\alpha = 20^\circ$ и длиной 65 мм из стали 47ГТ составляет 15...20 мкм, погрешность окружного шага 7...40 мкм, а радиальное биение 15... 30 мкм и параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,65...0,32$ мкм. Затраты времени на накатывание шлицев 1,7 мин. Накатные ролики изготавливают из стали Р6М5 твердостью HRC 64-68. После накатывания шлицев производится зачистка заусенцев, мойка и сушка деталей.

Технологический маршрут изготовления деталей, подобных вилке включения трактора. При изготовлении вилки включения трактора из штампованной заготовки массой 0,3 кг из стали 45 (НВ 229-69) в условиях массового производства первой операцией является обработка торцов бобышек заготовки на протяжном станке.

Вторая операция – агрегатно-сверлильная – выполняется на вертикальном девятишпиндельном станке с боковой приставкой, имеющей шестипозиционное приспособление, на котором за два установа одновременно на каждой позиции обрабатываются две заготовки одной силовой головкой (рис. 6.142, а, б). При первом установе заготовки 1 в качестве установочной базы используются ее торцы, а наружные поверхности бобышек служат направляющей и опорной базами. При этом на первой позиции производятся установка и закрепление заготовки, на второй – сверление центрального отверстия, на третьей – его зенкерование, на четвертой – его развертывание до диаметра 25Н10; пятая позиция – свободная, а на шестой фрезеруется паз шириной 12,5Н10. После этого заготовку повторно устанавливают на первую позицию в другое приспособление. Базируется заготовка вилки в этом приспособлении по торцам

бобышек (установочная база с помощью установочных пальцев 5 и 6 по ранее обработанному отверстию диаметром 25H10 и пазу шириной 12,5H10 (направляющая и опорная базы). На второй позиции осуществляется сверление отверстия диаметром 12 мм на глубину 18,5 мм, на третьей – сверление отверстия под резьбу M10, на четвертой – цекование торца, на пятой – нарезание резьбы M10, а на шестой – фрезерование паза 6,5^{+0,2} мм. Открепление и закрепление заготовки 1 при первом установе производится прихватом 2 от гидроцилиндра 5, при этом втулка с обратным конусом 4 центрирует заготовку рычага по наружному контуру. При втором установе закрепление производится также от гидроцилиндра 3 прихватом 2.

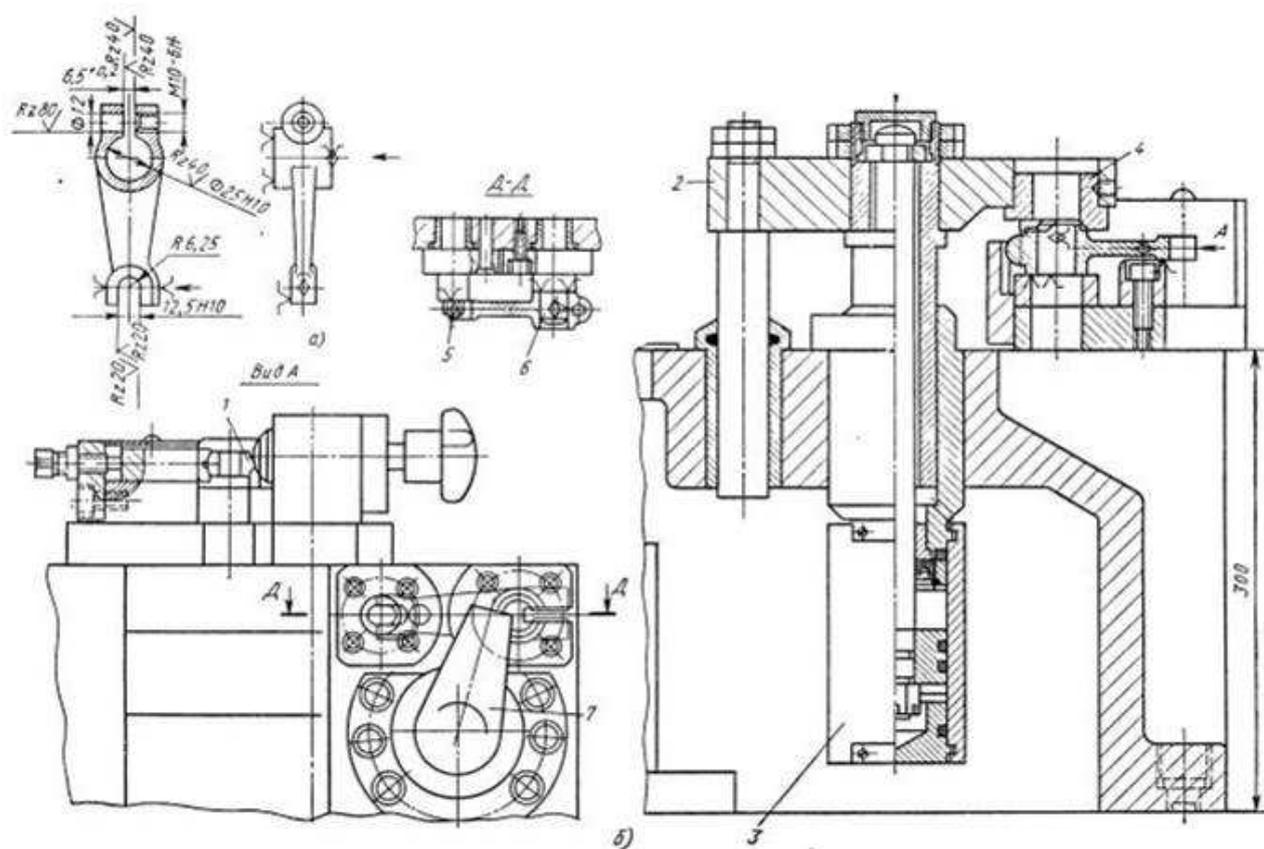


Рис. 6.142. Приспособление (б) для изготовления деталей, подобных вилке включения (а)

6.13.3. Контроль рычагов и вилок

Диаметры отверстий и ширину пазов у рычагов и вилок, а также расстояния между исполнительными поверхностями вилок контролируют преимущественно предельными калибрами-пробками и скобами. Расстоя-

ния между осями отверстий в деталях, отклонения от параллельности, перпендикулярности и положения осей отверстий, а также всех других поверхностей деталей измеряются почти так же, как для корпусных деталей, – с помощью индикаторов, размещенных в стойках приспособлений. Различие заключается в том, что базирование измеряемых деталей осуществляется оправками, установленными в ножевых призмах.

6.14. Изготовление шатунов.

Служебное назначение и конструктивные особенности шатунов

Шатуны являются звеньями шатунно-кривошипных механизмов, главным образом, поршневых двигателей внутреннего сгорания и компрессоров, где они служат для передачи силы от поршня и преобразования его возвратно-поступательного движения во вращательное движение коленчатого вала двигателя; в компрессорах наоборот – вращательное движение вала преобразуется в возвратно-поступательное движение поршня, осуществляющего сжатие воздуха для подачи его под давлением. При работе шатуны подвержены действию значительных знакопеременных рабочих нагрузок и сил инерции. Для этого шатун должен обладать достаточной прочностью и жесткостью при наименьшей возможной массе. Общность служебного назначения шатунов определяет их конструктивную общность: наличие большой (кривошипной) и малой (поршневой) головок, соединенных телом 1 (рис. 6.143) с ребрами по периферии. Однако конструктивное выполнение этих элементов у шатунов может быть различным. Большинство шатунов имеет разъемные кривошипные головки, причем у автотракторных двигателей (у которых установка шатунов в картер через цилиндр затруднена из-за значительных размеров кривошипных головок) разъем выполняют под углом к плоскости симметрии шатуна для удобства его установки. Кривошипные головки шатунов крупных компрессоров в ряде случаев конструируют не только разъемными, но и отъемными от стержней, образующих тело шатунов. При составных коленчатых валах с использованием подшипников качения, как в мотоциклетных двигателях, возможно применение неразъемных кривошипных головок шатунов. В кривошипные головки шатунов для снижения трения скольжения устанавливают вкладыши с антифрикционным покрытием. Крышку 2 – отъемную часть кривошипной головки – базируют по плоскости разъема тела шатуна 1 и закрепляют посредством призонных болтов 4 с гайками 5 или посредством уступов в месте стыка крышки 2 с телом 1 шатуна. Порш-

невую головку шатунов выполняют преимущественно неразъемной, в нее запрессовывают бронзовую биметаллическую (сталь-бронза) или с капроновой сетчатой лентой втулку 3. У крупных шатунов в некоторых случаях применяют вставные вкладыши, которые закрепляют специальными клиньями. Для подгонки комплекта шатунов быстроходных машин по массе их снабжают бобышками, с которых при необходимости снимают металл. Тело шатунов обычно имеет двутавровое сечение и только у больших шатунов в ряде случаев круглое сечение, причем внутри них может быть маслопроводное отверстие, соединяющее поверхности трения головок шатуна.

6.14.1. Технические условия на шатуны. Материалы и заготовки для шатунов

Для обеспечения работы шатунов в двигателе или компрессоре внутренняя поверхность вкладышей кривошипных головок должна прилегать к соответствующим шатунным шейкам коленчатого вала, а втулки или вкладыши поршневых головок – к пальцам поршней. Для этого необходимо, чтобы ось отверстия поршневой головки была параллельна оси отверстия кривошипной головки. Кроме того, должны быть обеспечены определенная точность диаметральных размеров, формы и параметр шероховатости поверхностей отверстий обеих головок. Допустимое колебание массы каждой головки и тела шатуна автомобильных и тракторных двигателей в комплекте не должно превышать 2...5 г, а для всего комплекта шатунов 4...10 г. Прочность шатунов гарантируется правильным выбором материала и выполнением требований к их макро- и микроструктуре. Основные технические требования на шатуны регламентированы для различных машин ГОСТами. В соответствии с ними отверстие под запрессовываемую втулку и отверстие в ней под поршневой палец двигателя должны быть изготовлены по посадкам *H7 – H8*. Для повышения точности поршневого пальца автомобильные ша-

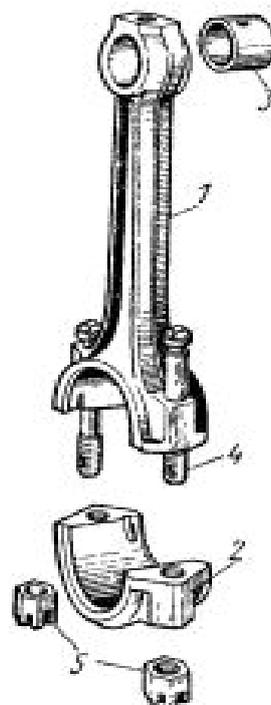


Рис. 6.143. Внешний вид шатуна:
1 – тело; 2 – крышка; 3 – втулка;
4 – болты; 5 – гайка

туны сортируют на группы по диаметру отверстия втулок с интервалом 2,5 мкм, а тракторные шатуны – согласно заводским ТУ. Отклонение от цилиндричности отверстия втулки в шатуне не должно превышать 2,5 мкм для бензиновых двигателей и 2/3 допуска на его диаметр для дизельных двигателей. Параметр шероховатости поверхности отверстия втулки $Rz = 2...6,3$. Отверстия под вкладыши в кривошипных головках шатунов должны быть изготовлены по посадкам $H6 - H7$. Допуски цилиндричности отверстий – не более 4...6 мкм для бензиновых двигателей и 2/3 допуска диаметра для дизельных шатунов, а $Rz = 2...6,3$ мкм. Допуск соосности отверстия запрессованной втулки с отверстием в кривошипной головке не должен превышать 0,04...0,05 мм на длине 100 мм для бензиновых двигателей и 0,03...0,05 мм на той же длине для дизельных. Допуск параллельности этих осей 0,02...0,04 на длине 100 мм. Отклонения межосевого расстояния у шатунов для отдельных типов $\pm(0,03...0,10)$ мм. Допуск перпендикулярности торцов кривошипной головки к оси отверстия – не более 0,005...0,010 мм на длине 100 мм для автотракторных двигателей. Допуск перпендикулярности площадок под гайки и головки призонных болтов к осям отверстий для них 0,07...0,010 мм на длине 100 мм. Отверстия под призонные болты изготавливают по посадке $H9$.

В качестве материалов для шатунов используют конструкционные среднеуглеродистые стали 40, 45 с HB 210...255 и легированные стали 45Г2, 18ХНМА, 18Х2НЧВА, 40ХНМА, 18Х2Н4МА, 40ХН2МА с HB 177...255, а также высокопрочные чугуны и титановые сплавы. Заготовки шатунов автомобильных и тракторных двигателей в условиях массового производства получают в закрытых штампах на молотах и кривошипных прессах, причем в ряде случаев заготовку предварительно готовят на ковочных вальцах. Используется и поперечно-винтовой прокат. Заготовки шатунов, как правило, получают цельными. Значительно реже крышку штампуют отдельно от тела шатуна, в этом случае можно использовать оборудование меньшей мощности. Однако увеличивается расход металла на заготовки. Заготовки шатунов часто имеют отверстие в кривошипной головке с припуском на обработку, а отверстие в поршневой головке получают путем механической обработки или прошивают в заготовках с припуском на обработку. Штампованные заготовки шатунов и крышек автотракторных двигателей нередко калибруют и чеканят. Калибрование повышает точность формы и размеров заготовок по всему профилю и постоянство их масс. В результате повышается точность установки заготовок и снижается припуск на их механическую обработку, а это способствует сокращению трудоемкости обработки и облегчает получение требуемого ка-

чества деталей. Чеканка торцов заготовок этих деталей позволяет получить расстояние между торцами с отклонением $\pm (0,08 \dots 0,20)$ мм, следовательно, будет возможна большая точность установки заготовок, малые значения припусков, позволяющие производить сразу шлифование. Механической обработке заготовок шатунов и крышек обычно предшествует термическая обработка для получения HB 210-290.

Заготовки крупных шатунов получают штамповкой или ковкой на молотах, реже штамповкой на прессах.

16.14.2. Технологический процесс изготовления шатунов

Обычно первой операцией при изготовлении шатунов является шлифовальная либо фрезерная операция по обработке торцов головок. При обработке кривошипной и поршневой головок шатуна точность $\delta_{Г\Delta}$ расстояния G_{Δ} и точность $\delta_{\epsilon\Delta}$ поворотов ϵ_{Δ} между торцами равны сумме допусков замыкающих (исходных) звеньев B_{Δ} и B'_{Δ} , γ_{Δ} и γ'_{Δ} размерных цепей B и B' , γ и γ' (рис. 6.144, а, б). Составляющие звенья этих цепей принадлежат станку B_c , γ_c , B'_c и γ'_c , приспособлению B_n , γ_n , B'_n , γ'_n , инструменту B_u , γ_u , B'_u , γ'_u и другим звеньям системы станок-приспособление-инструмент-заготовка, используемым на данной i -той или j -той операции. Помимо геометрической неточности составляющих звеньев при расчетах необходимо учитывать также изменения положения закрепляемых заготовок и других звеньев системы станок-приспособление-инструмент-заготовка, вызванные их деформациями и неточностью динамической настройки этой технологической системы. Обычно для выполнения этой операции целесообразно использовать двухшпиндельные плоскошлифовальные станки 3741 с многоместными приспособлениями, размещаемыми на зеркале поворотного стола непрерывного вращения. Периферия стола может быть использована для установки крышек и шатунов при шлифовании плоскостей их разъема. Для шлифования торцов головок заготовок шатунов, если они лежат в одной плоскости, в условиях массового производства можно использовать специальные станки карусельного типа для глубинного шлифования, обеспечивающие загрузку и выгрузку заготовок в процессе обработки (рис. 6.144, б). Припуск на торцах кривошипных головок последовательно снимается тремя шлифовальными кругами: первым – 0,25 мм, вторым – 0,1 мм, третьим – 0,05 мм; припуск на поршневой головке снимается двумя кругами: первым – 0,25 мм и вторым – 0,1 мм. Для предотвращения прижогов скорость кругов не должна превышать 24 м/с, а скорость стола – 4 м/мин. Круги – из электрокорунда нормального на бакелитовой связке.

зернистые (25) и более твердые (С1) износостойкие круги, обеспечивающие требуемую точность размеров и $Rz = 1,25 \dots 0,32$ мкм поверхностей шатунов. На станке выполняют активный контроль размеров изготавливаемых деталей и автоматическую подналадку по результатам измерений. Охлаждение и смазывание СОЖ производятся водной эмульсией НГЛ-205 с добавлением триэтаноламина. При протягивании базовых площадок на весовых бобышках поршневых головок необходимо обеспечить расстояние A_{Δ} допуском $\delta_{A_{\Delta}}$, который определяет требования к качеству заготовки $A_3^{\delta} A_3$ $A_{C-II}^{\delta} A_{C-II}$ точности станка с приспособлением $A_{C-II}^{\delta} A_{C-II}$, инструменту $A_{II}^{\delta} A_{II}$ $A_{II}^{\delta} A_{II}$ и точности их настройки (см. рис. 6.144, в). При протягивании полуотверстий кривошипных головок и боковых поверхностей, которые будут использованы в качестве технологических баз на последующих операциях изготовления шатунов, необходимо обеспечить параллельность каждой из поверхностей плоскости симметрии шатуна (см. рис. 6.144, з). В результате протягивания плоскостей стыка и площадок под болты на кривошипной головке шатуна должна быть обеспечена длина шатуна $A_{\Delta}^{\delta} A_{\Delta}$ с припуском на последующее шлифование, а также перпендикулярность к торцам головок шатунов плоскостей стыка и площадок под головки болтов $\lambda_{\Delta i}^{\delta}$. Допуск $\sigma_{\gamma_{\Delta i}}$ зависит от точности звена γ_{C-II} , характеризующего отклонение от перпендикулярности направления движения протяжки относительно плоскости стола станка, от перекоса γ_{3b} , связанного с несовпадением торцовых поверхностей головок шатунов, и от перекоса γ_{II} плоскости контакта базирующих устройств приспособления относительно его основания (см. рис. 6.144, д). Аналогично решается задача и при обработке крышек шатунов, которые обычно протягивают на вертикально-протяжных станках, нередко по несколько штук одновременно (см. рис. 6.144, е). Шлифование плоскостей стыков шатунов и крышек производится на двухшпиндельном вертикально-шлифовальном станке с поворотным столом непрерывного вращения, по периферии которого по ранее отшлифованным торцам устанавливаются обрабатываемые заготовки.

Направляющей и опорной базами заготовок служат базовые площадки и площадки под головки болтов и гаек. Обработку отверстия под втулку в поршневых головках шатунов в массовом производстве производят на агрегатных станках, а в серийном – на многоцелевых, револьверных и сверлильных станках по схеме, показанной на рис. 6.145, а.

Точность расстояния $A_{\Delta i}$ должна обеспечиваться с учетом того, что базирование производится по торцу весовой бобышки шатуна и режущий

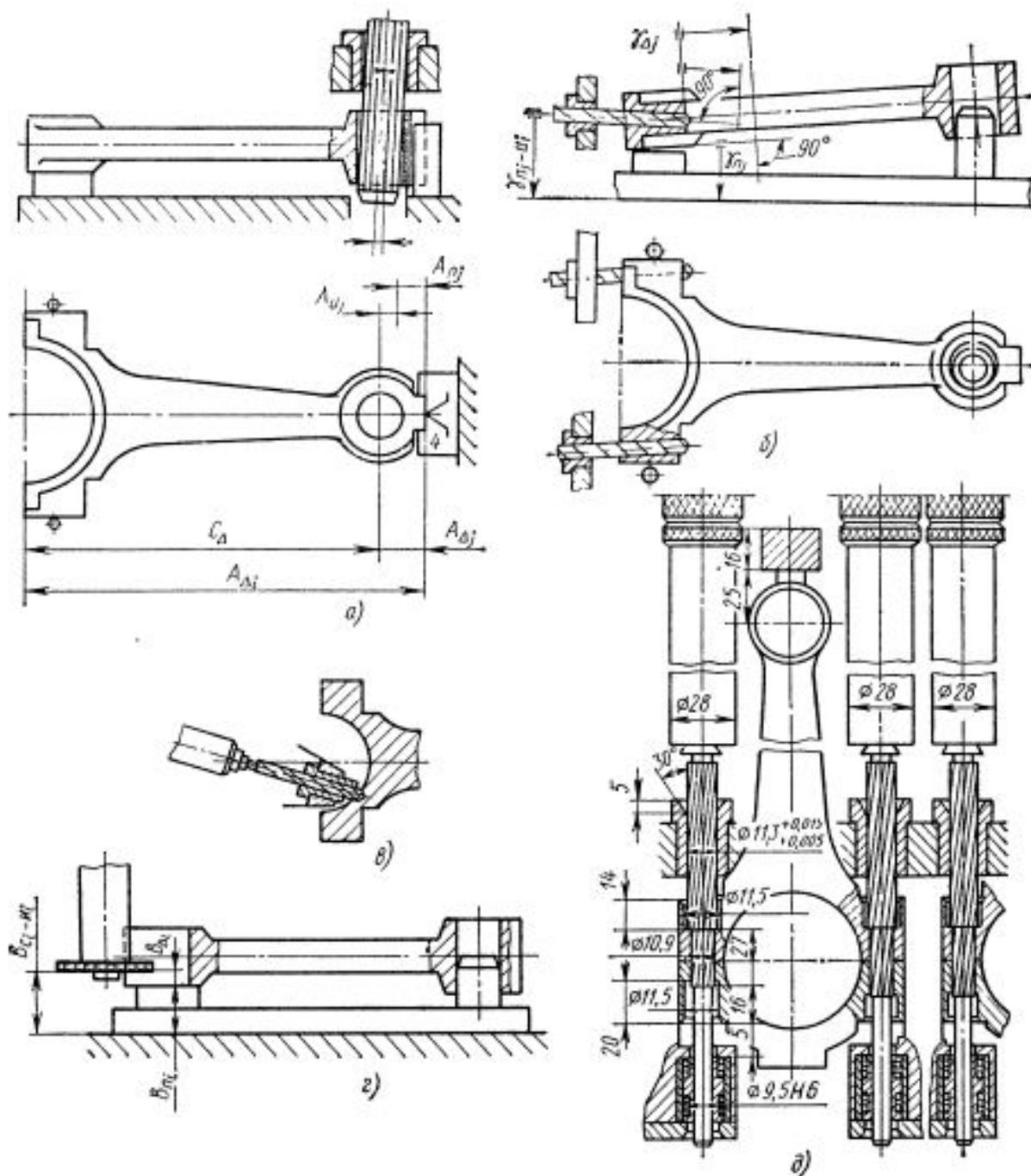


Рис. 6.145. Схема обработки отверстия под втулку в поршневых головках шатунов

инструмент может смещаться и перекашиваться в направляющей втулке кондукторной плиты относительно баз заготовки. Перпендикулярность оси отверстия к торцу шатуна обеспечивается точно так же, как и для любого другого рычага. Обработка отверстий под болты обычно не вызывает трудностей, поскольку затем они зенкеруются и развертываются совместно с отверстиями сопряженной детали (см. рис. 6.145, б). После обработки отверстий

под болты сверлят отверстия для смазывания в шатуне (см. рис. 6.145, *в*) и фрезеруют паз в шатуне под вкладыш. Для достижения требуемого положения фрезы при обработке в целях соблюдения требуемой точности расстояния ширины паза относительно торца шатуна или крышки в пределах 0,06...0,08 мм целесообразно использовать наиболее простой и точный вариант ее координирования (см. рис. 6.145, *з*). Затем производят снятие фасок в отверстиях шатуна и крышек, соединяют эти детали, совместно обрабатывают отверстия под болты (см. рис. 6.145, *д*). Устанавливают болты и навинчивают гайки (см. рис. 6.145, *е, ж*), предварительно проверив положение шатуна с крышкой относительно осей отверстий под гайки и положение базисных устройств относительно осей отверстий в шатуне. Далее растачивают или зенкеруют отверстия в кривошипных головках шатунов и производят снятие фасок во всех отверстиях. Шлифование торцов шатунов осуществляется по схеме, показанной на рис. 6.146, *а*. Затем растачивают окончательно отверстия в обеих головках (рис. 6.146, *б*) и запрессовывают бронзовую втулку 6 в поршневую головку шатуна 1 (рис. 6.147). Для этого нужно обеспечить определенную соосность посадочных поверхностей соединяемых шатуна 1 и втулки 6. Шатун 1 необходимо базировать по посадочной поверхности отверстия по подпружиненному пальцу 8 и торцу стойки 7, а втулку 6 – также по отверстию и торцу на оправке 2 гидроцилиндра. Втулка 6 подается из вибробункера или магазина по змеевидному лотку 4, откуда поступает в приемную часть 3 приспособления, а затем сжимается втулкой 5 (т.к. диаметр отверстия во втулке 5 соответствует диаметру наружной поверхности втулки 6 в сжатом состоянии) и в таком положении запрессовывается в шатун 1. Вследствие больших действующих сил базирование каждой из соединяемых деталей совершается по установочной и двойной опорной базам.

К этому неблагоприятному варианту базирования соединяемых деталей (по сочетанию двух поверхностей) вынуждены прибегать, хотя желательно было бы базировать каждую из них по одной цилиндрической поверхности (двойной направляющей базе). Упругим компенсатором в системе станок-приспособление-инструмент-сборочная машина должна быть оправка 2.

Затем осуществляют тонкое растачивание отверстий в кривошипной головке и во втулке поршневой головки шатуна аналогично тому, как это показано на рис. 6.146, *в*. На этой операции необходимо обеспечить допустимое отклонение от перпендикулярности $\delta_{\lambda\Delta}$ торцов к оси отверстия в кривошипной головке шатуна и от параллельности $\delta_{\lambda\Delta}$ этой оси отверстия к поршневой головке. В качестве установочной технологической базы на этой операции целесообразно использовать торец бобышки кривошипной

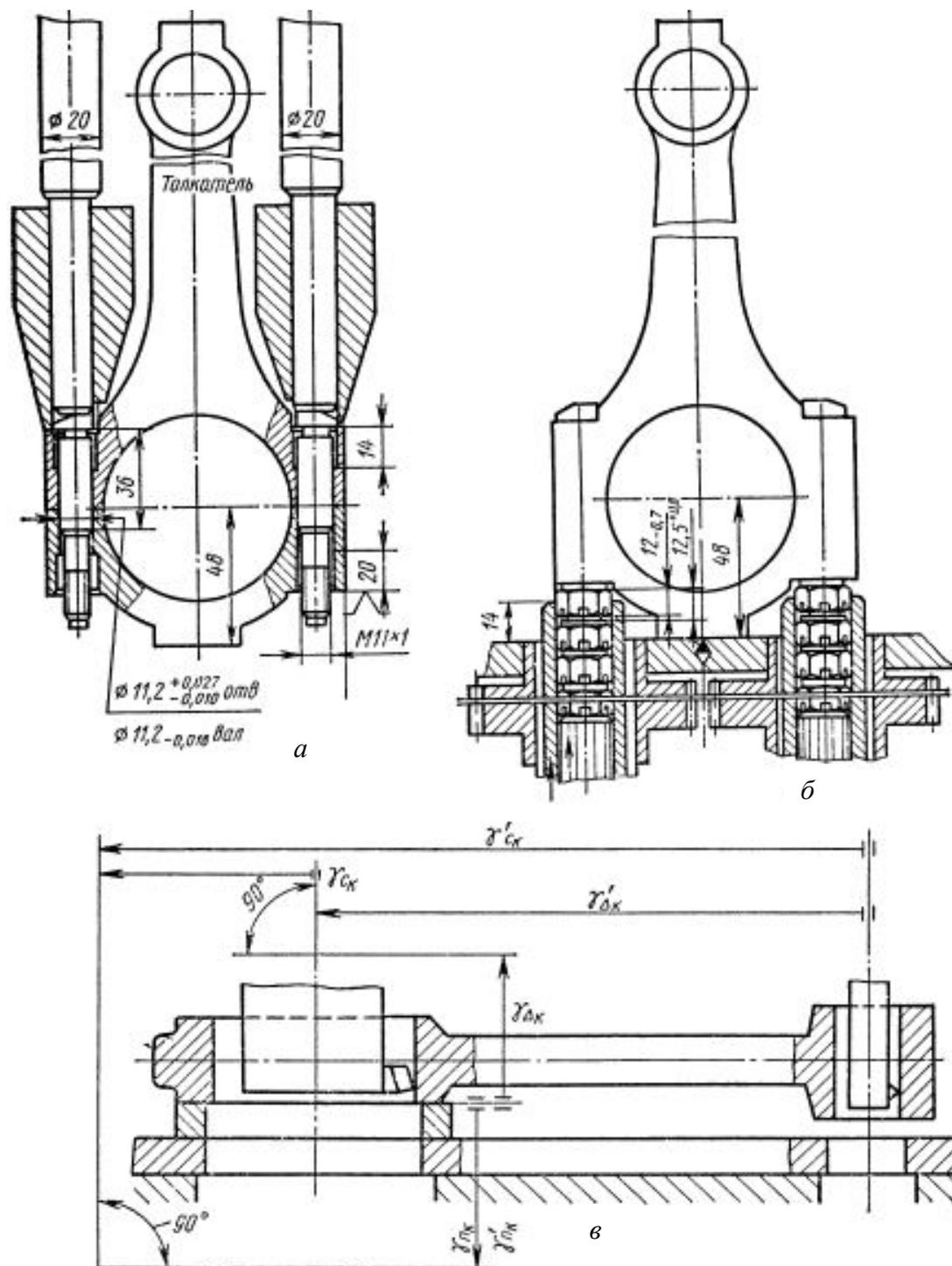


Рис. 6.146. Технологические средства достижения требуемой точности при изготовлении шатуна и крышки шатуна и их автоматической сборке

головки. Это позволит исключить влияние относительного положения торцов бобышек у заготовки и базовых поверхностей опор приспособления. Такая схема базирования заготовки в приспособлении возможна, поскольку при тонком растачивании силы резания невелики, а поэтому малы

и силы закрепления заготовки. Направляющей и опорной базами служат боковая поверхность кривошипной головки и отверстие в поршневой головке заготовки шатуна. Для этого в отверстие вводится установочный палец, который после закрепления заготовки возвращается в исходное положение, тем самым не будет мешать расточке отверстия. Завершающая операция – хонингование отверстий в кривошипной головке заготовки шатуна (рис. 6.148).

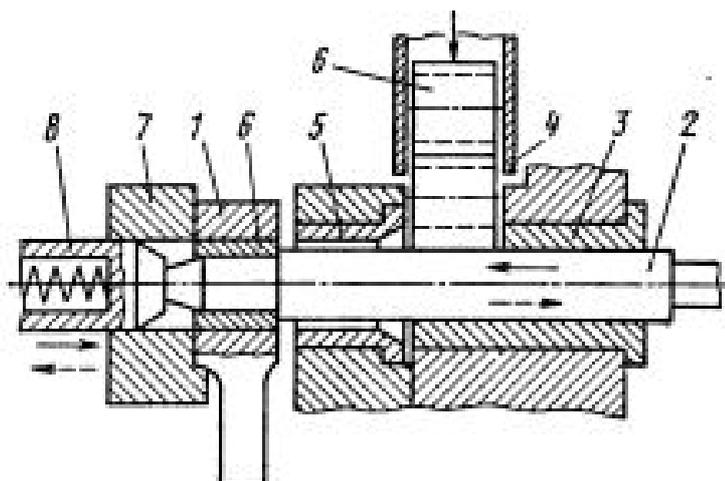


Рис. 6.147. Технологические средства запрессовки втулки в шатун

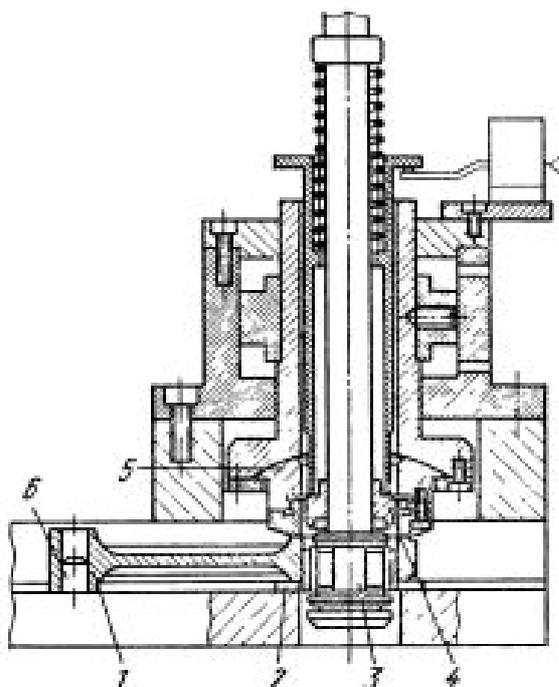


Рис. 6.148. Технологические средства для хонингования отверстий в шатунах

В процессе обработки необходимо не превышать допустимое отклонение от параллельности осей отверстий и от перпендикулярности оси кривошипной головки к ее торцам. Практика показывает, что хонинговать шатуны 1 целесообразно поштучно. При таком методе обработки заготовка шатуна 1 базируется по опоре 2 (установочная база), пальцу 6 и по хонинговальной головке 3 (направляющая и опорная базы). Закрепление шатуна производится поджимом – самоустанавливающимся кольцом 5. При обработке линейная скорость вращающегося хона около 60 м/мин, а его продольная скорость 18 м/мин. Хон имеет шесть брусков из материала АСР 88/63 для черновой обработки и из АСМ 40/28 для чистовой. Съем на диаметр соответственно 30...50 и 10...20 мкм. Если у поверхности до хонингования $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм, то после него $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм, если же до хонингования $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм, то после обработки $Ra = 0,63 \dots 0,32$ мкм. Диаметр измеряют предельным калибром-пробкой 4 прибора активного контроля. Затраты времени на каждый вид хонингования 20...30 с.

16.4.3. Контроль шатунов

Диаметры отверстий в головках шатунов проверяют предельными калибрами-пробками или индикаторными приборами, причем последние используют и для контроля точности их формы. Расстояния и параллельность осей отверстий в головках шатунов контролируют так же, как и для любых других рычагов. В условиях массового производства размеры шатунов измеряют одновременно по многим параметрам посредством специальных пневматических приборов, осуществляющих автоматическую выверку шатуна, закрепление, подвод индуктивных датчиков и измерения. Это облегчает выполнение контрольной операции и существенно сокращает затраты времени на ее проведение.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Цели и задачи практических занятий: закрепление теоретических знаний по курсу «Технология машиностроения (производство машин)», приобретение навыков разработки маршрутных технологических процессов деталей различных классов применительно к условиям различных типов производств.

Содержание: разработать маршрутный технологический процесс механической обработки заданной детали в условиях массового, серийного или единичного производства с указанием типа оборудования, содержания операций, используемой технологической оснастки (приспособление, режущий, мерительный и вспомогательный инструмент). Для режущего лезвийного инструмента приводится вид, материал режущей части, для абразивного – форма, материал.

Источники информации: чертеж детали, тип производства.

Отчетность: маршрутный технологический процесс, эскизы операционные

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Содержание: разработать с помощью ПЭВМ маршрутно-операционный технологический процесс механической обработки заданной детали в условиях массового, серийного или единичного производства с указанием типа и модели оборудования, содержания операций, режимов резания, используемой технологической оснастки (приспособление, режущий, мерительный и вспомогательный инструмент). Для режущего лезвийного инструмента приводится вид, материал режущей части, для абразивного – форма, материал.

Источники информации: чертеж детали, тип производства, базы данных оборудования и технологической оснастки ПЭВМ.

Отчетность: маршрутно-операционный технологический процесс, эскизы операционные.

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1. Цели и задачи курсового проектирования

Курсовой проект по технологии машиностроения является первой комплексной работой студента по проектированию технологического процесса обработки деталей машин и способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, полученных в процессе обучения.

При курсовом проектировании студент вырабатывает навыки самостоятельной инженерной деятельности по выбору методов обработки, последовательности и содержания механической обработки, сборки и контроля производства деталей машин, узлов и механизмов, моделей металлорежущих станков, режущих и измерительных инструментов, назначению режимов резания, норм времени, выбору и проектированию приспособлений, умения экономически обосновать принятые решения.

2. Тема и задания

При выполнении курсового проекта по технологии машиностроения в качестве задания студент получает, как правило, чертеж детали (сборочного узла), типовой технологический процесс механической обработки для существующего производства.

Темами курсового проекта могут быть:

- 1) проект технологического процесса обработки одной из деталей механизма или машины. Деталь, на которую разрабатывается технологический процесс, должна быть средней сложности (10 – 15 операций механической обработки);
- 2) проект с развитой исследовательской частью;
- 3) проект технологического процесса сборки сборочного узла или небольшого изделия.

В отдельных случаях содержание некоторых разделов курсового проекта может быть изменено руководителем с учетом специфики темы, конкретных условий производства.

Задание на курсовой проект, выполненное по установленной форме, выдает руководитель проекта. В нем указывается годовая программа выпуска деталей, условия работы цеха или участка и перечень вопросов, подлежащих подробной разработке.

3. Основные требования к курсовому проекту

В курсовом проекте решается сложная комплексная задача проектирования и исследования совершенных и экономически эффективных технологических процессов. При разработке проекта необходимо отражать вопросы комплексной механизации и автоматизации производства, использовать типовые технологические процессы, возможности группового метода обработки для условий серийного производства, обработку на станках с программным управлением и быстропереналаживаемую унифицированную оснастку, вводить поточные методы производства. Следует применять высокопроизводительные станки, быстродействующие приспособления с силовым приводом, новые конструкции режущего, измерительного и вспомогательного инструмента, средства активного контроля, полуавтоматические и автоматические загрузочные устройства и т.д.

В проекте должны быть отражены новейшие достижения отечественной и зарубежной науки и техники.

Принятый технологический процесс должен быть экономически оптимален и не являться простым повторением действующего на заводе или в цехе технологического процесса.

4. Содержание, объем и оформление курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Записка выполняется рукописным печатным способом (через 1,5 – 2 интервала) на бумаге формата А4. Размер левого поля 35 мм, правого – 10 мм, верхнего и нижнего – по 20 мм.

Объем записки составляет 40...60 страниц.

В расчетно-пояснительную записку не следует включать известные общие положения, взятые из учебников и технической литературы.

Каждый раздел следует начинать с нового листа.

Разделы нумеруются арабскими цифрами и точкой (1.) в пределах всей записки. Подразделы нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела, причем номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенных точкой. После номера подраздела, также ставят точку, например (4.1).

Заголовки разделов записываются прописными буквами, заголовки подразделов строчными (кроме первой прописной). Точку в конце заголовка не ставят. Подчеркивать заголовка и переносить слова в заголовках не допускается.

Нумерация страниц записки должна быть сквозной, начиная с титульного листа до последней страницы. Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи пр.) именуется рисунками. Рисунки нумеруются последовательно в пределах раздела арабскими цифрами. Номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой.

Рисунки следует размещать сразу после ссылки на них в тексте записки.

Цифровой материал рекомендуется оформлять в виде таблиц. Требования к нумерации таблиц и ссылкам на таблицы аналогичны соответствующим требованиям к рисункам.

Допускается помещать таблицы в конце записки или в приложении.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующее:

1. Титульный лист.
2. Ведомость проекта.
3. Задание на курсовой проект.
4. Реферат.
5. Оглавление.
6. Введение.
7. Анализ служебного назначения детали.
8. Анализ технологичности конструкций детали.
9. Определение типа производства.
10. Выбор заготовки.
11. Анализ существующего технологического процесса.
12. Выбор варианта технологического маршрута.
13. Расчет припусков.
14. Расчет режимов резания.
15. Нормирование технологического процесса.
16. Технологические карты механической обработки.
17. Расчет и проектирование приспособления.
18. Заключение (выводы и предложения).
19. Список литературы.
20. Приложения.

Графическая часть проекта в объеме 4 – 6 листов включает:

1. Чертеж детали.
2. Чертеж заготовки.
3. Эскизы операционные.
4. Общий вид станочного и контрольного приспособления, механизующего или автоматизирующего устройства на одну из операций технологического процесса обработки (1 – 2 листа).

Содержание записки и объем графической части проекта могут быть изменены в зависимости от особенностей темы проекта. Эти изменения отражаются в задании.

5. Указания к разработке разделов расчетно-пояснительной записки

В *ведомости* курсового проекта перечисляются все документы, входящие в разработанный проект.

Реферат кратко отражает содержание, основные этапы работы, сущность разработки поставленной задачи.

В *оглавлении* указываются точные названия всех разделов и подразделов записки с нумерацией страниц.

Введение кратко характеризует современное состояние вопроса, который рассматривается в проекте, а также цель проекта.

Во введении следует описать:

- а) значение машины, в которую входит обрабатываемая деталь;
- б) перспективы развития данной отрасли машиностроения;
- в) особенности задачи, поставленной перед студентом при выполнении курсового проекта. Здесь описывается, в чем заключается новизна и актуальность решаемой задачи.

Анализируя служебное назначение детали, студент должен описать конструкцию детали и условия ее работы в узле или механизме.

В этом же разделе следует привести также данные о материале детали по химическому составу, механическим свойствам до и после термической обработки. Эти данные сводятся в таблицы, пример – табл. 1, 2.

Таблица 1

Химический состав стали 45

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
0,4 – 0,5	0,17 – 0,27	0,5 – 0,8	0,045 н.б.	0,045 н.б.	0,3	0,3

Таблица 2

Механические свойства стали 45

σ_m	$\sigma_{вр}$	δ	ψ	НВ (не более)	
не менее				горячекат.	отожжен.

Анализируя технологичность конструкции детали, надо рассматривать ее, исходя из тех требований, которые приведены в соответствующем государственном стандарте (ГОСТ 14.204-73).

Тип производства определяется через коэффициент закрепления операций в соответствии с ГОСТ 14004-74.

Выбор заготовки выполняется с использованием ЭВМ.

Анализ существующего технологического процесса должен завершаться конкретными предложениями по его изменениям в курсовом проекте.

Выбор варианта технологического маршрута сопровождается технико-экономическим сравнением с базовым вариантом (существующим заводским). При отсутствии базового технологического процесса, технологический процесс разрабатывается в двух вариантах. Выбор варианта – их технико-экономическим сопоставлением. Экономический анализ проводится по критерию технологической себестоимости обработки.

Расчет припусков дается на две разнохарактерных поверхности детали (наружную, внутреннюю).

Расчет режимов резания выполняется на два технологических перехода по эмпирическим формулам, на остальную обработку режимы резания подбираются по справочникам и сводятся в таблицы.

Нормирование технологического процесса производится расчетно-аналитическим методом.

Расчет и проектирование приспособления. Дается сборочный чертеж приспособления с необходимым числом проекций. Приводится силовой расчет приспособления и расчет приспособления на точность.

Технологическая документация проекта оформляется в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД и ЕСТПП, графическая часть проекта – по стандартам ЕСКД.

6. Защита курсового проекта

К защите допускаются курсовые проекты, подписанные руководителем. Студент защищает проект перед комиссией, назначенной заведующим кафедрой. Для изложения содержания проекта студенту предоставляется 10 мин.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Понятие о точности обработки и качестве обработанной поверхности. Критерии точности. Критерии качества. Точность экономическая и достижимая.
2. Изготовление станин в единичном и серийном производстве.
3. Предварительная обработка литых заготовок и поковок.
4. Изготовление базовых деталей – рам в серийном и массовом производстве.
5. Обработка заготовок из проката.
6. Обработка корпусных деталей в условиях единичного производства.
7. Экономическое обоснование выбора вида заготовок.
8. Обработка корпусных деталей в серийном производстве.
9. Строгание. Протягивание плоскостей.
10. Обработка корпусных деталей на агрегатных станках и автоматических линиях.
11. Изготовление валов в массовом производстве.
12. Токарная обработка на универсальном оборудовании.
13. Изготовление шпинделей.
14. Фрезерование.
15. Изготовление валов в единичном и серийном производстве.
16. Токарно-револьверные станки.
17. Обработка коленчатых валов.
18. Обработка на одношпиндельных токарных полуавтоматах.
19. Обработка фланцев.
20. Вида и методы чистовой обработки наружных поверхностей вращения.
21. Технология изготовления конических зубчатых колес с прямым зубом и косозубых.
22. Алмазное точение.
23. Изготовление конических передач с криволинейным зубом.
24. Круглое шлифование. Бесцентровое шлифование.
25. Изготовление червячных пар с цилиндрическим червяком.
26. Ленточное шлифование. Полирование.
27. Изготовление червячных пар с глобоидным червяком.
28. Горизонтальные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы.
29. Технология изготовления цилиндрических зубчатых колес в единичном и серийном производстве.

30. Обработка на вертикальных многошпиндельных токарных полуавтоматах.
31. Технология изготовления цилиндрических зубчатых колес в массовом производстве.
32. Притирка. Суперфиниш.
33. Технология изготовления ходовых винтов и гаек.
34. Накатывание, выглаживание, дробеструйная обработка.
35. Понятие о качестве изделия. Параметры качества
36. Сверление, зенкерование. Развертывание.
37. Технологичность конструкции. Анализ конструкции на технологичность.
38. Оборудование и оснастка для лезвийной обработки отверстий.
39. Организационные формы и виды сборки.
40. Растачивание.
41. Размерные цепи. Понятие, терминология и классификация.
42. Протягивание.
43. Точность сборки. Методы достижения точности.
44. Глубокое сверление.
45. Анализ сборочных размерных цепей.
46. Хонингование. Притирка.
47. Технологические схемы сборки.
48. Обработка отверстий без снятия стружки – колибрование и раскатывание.
49. Структура и содержание технологического процесса сборки
50. Шлифование.
51. Последовательность разработки процесса сборки.
52. Лезвийная обработка фасонных поверхностей.
53. Технологическая документация процесса сборки изделия.
54. Абразивная обработка фасонных поверхностей.
55. Нормирование сборочных операций.
56. Классификация резьб.
57. Основные показатели сборочного процесса: такт выпуска и действительный такт, ритм выпуска и действительный ритм, производительность сборочного места, коэффициент загрузки рабочего места и поточной линии.
58. Нарезание наружной резьбы.
59. Контрольные и специальные испытания машин.
60. Нарезание внутренней резьбы.
61. Механизация и автоматизация сборочных работ.

62. Накатывание наружной резьбы. Накатывание внутренних резьб.
63. Цели и задачи технологического проектирования. Этапы проектирования технологических процессов механической обработки.
64. Шлифование резьбы.
65. Разработка маршрутной технологии.
66. Методы контроля резьбы. Контрольные параметры.
67. Разработка операционной технологии.
68. Конструктивные разновидности шпоночных канавок. Изготовление шпоночных канавок на охватываемых и охватывающих деталях.
69. Нормирование операций механической обработки.
70. Конструктивные разновидности шлицевых соединений. Обработка шлицевых валов и втулок.
71. Классификация технологических процессов.
72. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес, секторов и реек.
73. Технический контроль при механической обработке деталей.
74. Изготовление червячных пар.
75. Техническая документация ТП механической обработки.
76. Нарезание конических зубчатых колес.
77. Проектирование типовых и групповых технологических процессов.
78. Техническая документация типовых и групповых ТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроительных специальностей вузов/ А.А. Гусев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.: с ил.
2. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 560 с.
3. Корсаков, В.С. Справочник по механизации сборочных работ /В.С. Корсаков, М.П. Новиков. – М.: Машгиз, 1961. – 375 с.
4. Рыбкин, Е.А. Шестеренчатые насосы для металлорежущих станков / Е.А. Рыбкин, А.А. Усов. – М.: Машгиз, 1960. – 187 с.
5. Новиков, Н.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / Н.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
6. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
7. Технология машиностроения: в 2 т. / В.М. Бурцев [и др.]. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – Т. 1. – 564 с.
8. Гурин, Ф.В. Технология автомобилестроения / Ф.В. Гурин. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
9. Данилов, В.А. Технология производства и ремонта горных машин и оборудования: в 2 т. / В.А. Данилов, В.Я. Прушак, Е.М. Найденышев. – Минск: Технология, 2007. – Т. 1 – 486 с.
10. Егоров, М.Е. Технология машиностроения / М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высш. шк., 1976. – 534 с.
11. Новиков, М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – М.: Машиностроение, 1950. – 592 с.
12. Рохлин, А.Г. Технология производства судовых дизелей / А.Г. Рохлин. – Л.: Судостроение, 1968. – 344 с.
13. Тайц, Б.А. Производство зубчатых колес / Б.А. Тайц. – М.: Машиностроение, 1985. – 728 с.
14. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич [и др.]. – Минск: Высшая школа, 1975.
15. Технология размерно-чистовой и упрочняющей обработки: учеб. пособие для студентов техн. специальностей вузов / П.С. Чистосердов [и др.]. – Минск: Университетское, 1993. – 188 с.
16. Кравец, А.Т. Достижения отечественного станкостроения в области нетрадиционных методов обработки материалов. Обзор / А.Т. Кравец, Б.Х. Мечетнер. – М.: НИИмаш, 1992.
17. Schulz H. Nikian R. G., Werkzeug maschinengestell aus Polymerbeton. – Werkstatt und Betrieb, 1981, N 10, S. 747 – 752.
18. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 586 с.
19. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – Минск: Выш. шк., 1983. – 256 с.

20. Добрыднев, И.С. Курсовое проектирование по предмету «Технология машиностроения»: учеб. пособие по специальности «Обработка металлов резанием» / И.С. Добрыднев. – М.: Машиностроение, 1986.
21. Косилова, Н.М. Точность обработки, заготовки и припуска в машиностроении: справочник технолога / Н.М. Косилова, Р.К. Мещеряков, М.А. Калинин. – М.: Машиностроение, 1976.
22. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1986. Т.2. – 655 с.
23. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1974. – Ч. 1. – 406 с; Ч. 2. – 200 с.
24. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.
25. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Массовое производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 136 с.
26. Режимы резания металлов: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1977. – 408 с.
27. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л. Гуревич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
28. Иващенко, И.А. Технологические размерные цепи и способы их автоматизации / И.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.
29. Соловьев, С.Н. Основы технологии судового машиностроения: учебник / С.Н. Соловьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1983. – 360 с.
30. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С. Солонин, С.И. Солонин. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
31. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов / под. общ. ред. И.П. Филонова; + CD. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
32. Пашкевич, М.Н. Технологическая оснастка / М.Н. Пашкевич, Ж.А. Мрочек. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002.
33. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 1.
34. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2.
35. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 3.
36. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.].– М.: Машиностроение, 2003. – Т. 1. – 912 с.
37. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М. Дальского [и др.].– М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2. – 944 с.

38. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
39. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
40. Маслов, А.Р. Приспособление для металлообрабатывающего инструмента: справочник (Библиотека инструментальщика) / А.Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2002. – 256 с.
41. Суслов, А.Г. Технология машиностроения: учебник / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2003. – 400 с.
42. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
43. Технология конструкционных материалов: учебник / под ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
44. Технологические основы управления качеством машин (Библиотека технолога) / А.С. Васильев [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
45. Баранчиков, В.И. Обработка специальных материалов в машиностроении: справочник (Библиотека технолога) / В.И. Баранчиков, А.С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.
46. Восстановление деталей машин: справочник / под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
47. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
48. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
49. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в машиностроении: учеб. пособие / В.Г. Еремин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2002. – 400 с.
50. Справочник слесаря-монтажника технологического оборудования / под общ. ред. П.П. Алексеенко и Л.А. Григорьева. – М.: Машиностроение, 2003. – 304 с.
51. Васильев, В.С. Электрофизико-химические методы размерной обработки (состояние, задачи, перспективы) // Станки и инструмент. – 1977. – № 9. – С. 3 – 4.
52. Вероман, В.Ю. Ультразвуковая обработка материалов / В.Ю. Вероман, А.Б. Аренков / под ред. Л.Я. Попилова. – Л.: Машиностроение, 1971. – 67 с.
53. Голованов, Л.В. Соперники резца / Л.В. Голованов. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
54. Коваленко, В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.С. Коваленко. – Киев: Виц. шк., 1975. – 233 с.
55. Лазаренко, Б.Р. Электрические способы обработки металлов и их применение в машиностроении / Б.Р. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 40 с.
56. Лившиц, А.Л. Электрофизико-химические и традиционные методы размерной обработки / А.Л. Лившиц, Ю.С. Волков // Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: материалы семинара. – М.: МДНТП, 1975. – С. 12 – 20.

57. Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов / под ред. Л.Я. Попилова. – Л.: Машиностроение, 1972.
58. Опыт применения совмещенных электрофизико-химических методов обработки в промышленности: материалы семинаров. – Л.: ЛДНТП, 1978. – 94 с.
59. Машиностроение: энциклопедия / под ред. В.Ф. Мануйлова. – М.: Машиностроение, 1996. – Т. III-2: Технология заготовительных производств. – 736 с.
60. Машиностроение: энциклопедия / под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2002. – Т. III-3: Технология изготовления деталей машин. – 840 с.
61. Машиностроение: энциклопедия / под ред. Ю.М. Соломенцова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. III-5: Технология сборки в машиностроении. – 640 с.
62. Машиностроение: энциклопедия / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. III-7: Измерения. контроль, испытания и диагностика. – 464 с.
63. Машиностроение: энциклопедия / под ред. Г.П. Воронина. – М.: Машиностроение, 2000. – Т. I-5: Стандартизация и сертификация в машиностроении. – 655 с.
64. Машиностроение: энциклопедия / под ред. О.А. Банных и Н.Н. Александрова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. II-2: Стали. Чугуны. – 781 с.
65. Машиностроение: энциклопедия / под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1995. – Т. IV-1: Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. – 864 с.
66. Машиностроение: энциклопедия: Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование.

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
(ПРОИЗВОДСТВО МАШИН)**

Учебно-методический комплекс
для студентов специальностей
1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»

В трех частях

Часть 3

Составители:

ЛЫСОВ Александр Аркадьевич
НАЙДЁНЬШЕВ Евгений Михайлович
АРШИКОВ Александр Сергеевич

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

Подписано в печать 26.12.12. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 17,17. Уч.-изд. л. 16,84. Тираж 30 экз. Заказ 143.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.09

ЛП № 02330/0494256 от 27.05.09

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.