

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА)

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКИ МАШИН

Конспект лекций

Утверждено
на заседании
методического совета
Протокол № 1 от 20.11.2015

Краматорск
ДГМА
2015

Технология обработки типовых деталей и сборки машин : конспект лекций / сост. С. В. Ковалевский, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко. – Краматорск : ДГМА, 2015. – 119 с.

Конспект лекций по дисциплине «Технология обработки типовых деталей и сборки машин» составлен в соответствии с программой дисциплины. Содержит перечень рекомендованной литературы. Предназначен для студентов дневной и заочной форм обучения.

Составители:	Ковалевский С. В., проф., Онищук С. Г., доц., Борисенко Ю. Б., ст. преп.
Отв. за выпуск	Ковалевский С. В., зав.каф.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Технология изготовления базовых и корпусных деталей.....	5
1.1 Технология изготовления базовых деталей	5
1.1.1 Служебное назначение и классификация базовых деталей. Технические условия и нормы точности. Заготовки станин.....	5
1.1.2 Черновая обработка базовых деталей.....	9
1.1.3 Чистовая обработка базовых деталей.....	10
1.1.4 Отделочная обработка направляющих.....	11
1.1.5 Технологический процесс изготовления базовых деталей...	14
1.1.6 Методы и средства контроля базовых деталей	15
1.2 Технология изготовления корпусных деталей	17
1.2.1 Служебное назначение и классификация корпусных деталей. Технические условия и нормы точности. Материалы и методы получения заготовок.....	17
1.2.2 Способы обработки плоских поверхностей и их технологические возможности.....	20
1.2.3 Обработка основных отверстий. Способы черновой обработки и отделочной обработки основных отверстий	22
1.2.4 Технологический процесс изготовления корпусных деталей.....	25
1.2.5 Контроль корпусных деталей: методы контроля и средства технологического оснащения.....	28
2 Технология изготовления деталей типа «Тела вращения».....	32
2.1 Технология изготовления ступенчатых валов.....	32
2.1.1 Служебное назначение и классификация валов. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок.....	32
2.1.2 Способы обработки наружных поверхностей. Способы обработки шлицев и шпоночных канавок. Способы нарезания резьбы.....	33
2.1.3 Технологический процесс изготовления ступенчатых валов.....	40
2.2 Технология изготовления шпинделей.....	42
2.2.1 Служебное назначение, технические условия и нормы точности шпинделей. Материалы и способы изготовления шпинделей.....	42
2.2.2 Технологический процесс обработки шпинделя. Балансировка и контроль шпинделя.....	44
2.3 Технология изготовления ходовых винтов.....	49
2.3.1 Служебное назначение, технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок.....	49
2.3.2 Технологический процесс изготовления ходовых винтов нормальной точности. Контроль ходовых винтов.....	52

3 Технология изготовления деталей зубчатых передач.....	54
3.1 Технология изготовления деталей цилиндрических зубчатых передач.....	54
3.1.1 Служебное назначение и классификация зубчатых колес. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок.....	54
3.1.2 Способы формообразования зубьев цилиндрических зубчатых колес. Технология отделочной обработки зубчатых колес.....	56
3.1.3 Технология изготовления цилиндрических зубчатых колес. Контроль цилиндрических зубчатых колес.....	59
3.2 Технология изготовления деталей конических зубчатых передач.....	65
3.2.1 Служебное назначение и классификация зубчатых колес. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок.....	65
3.2.2 Способы формообразования зубьев конических зубчатых колес. Технология отделочной обработки зубчатых колес.....	67
3.2.3 Технология изготовления конических зубчатых колес. Контроль конических зубчатых колес.....	69
3.3 Технология изготовления деталей червячных передач.....	73
3.3.1 Служебное назначение и классификация червячных передач. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок.....	73
3.3.2 Способы нарезания червяков. Технология отделочной обработки червяков. Технология изготовления червяков. Контроль червяков.....	75
3.3.3 Технология изготовления червячных колес. Способы формообразования зубьев червячных колес. Технология отделочной обработки червячных колес. Контроль червячных колес.....	80
4 Технология изготовления сложнопрофильных деталей.....	82
4.1 Технология изготовления вилок, рычагов и шатунов	82
4.2 Технология изготовления лопаток паровых и газовых турбин...	89
5 Основы разработки технологических процессов сборки машин...	90
5.1 Технологический процесс сборки и его структура.....	90
5.2 Последовательность разработки технологического процесса сборки.....	90
5.3 Точность сборки машин и методы ее достижения.....	91
5.4 Подготовительные операции сборочного процесса.....	93
5.5 Особенности сборки типовых соединений и сборочных единиц машины.....	97
5.6 Автоматическая сборка изделий машиностроения.....	112
Перечень ссылок.....	119

ВВЕДЕНИЕ

Главным заданием современного машиностроительного производства является обеспечение выпуска высококачественной конкурентоспособной техники. Качество и его составная – точность получаемых деталей и сборочных соединений при заданных параметрах производительности и экономичности сегодня достигается при обработке резанием и сборке машин.

Огромное разнообразие конструкций машин и механизмов, которые выпускаются машиностроительной промышленностью, не позволяет рассмотреть все их особенности. Однако наличие типовых деталей и типовых сборочных единиц и соединений позволяет рассмотреть особенности их изготовления и сборки и перенести общие закономерности на другие подобные изделия.

В конспекте лекций рассмотрены особенности обработки и типовые технологические процессы изготовления базовых и корпусных деталей; деталей типа «тел вращения»; деталей зубчатых передач; сложнопрофильных деталей. Также рассмотрены особенности организации сборки типовых сборочных соединений, а также автоматизации сборочных работ.

1 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЗОВЫХ И КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Технология изготовления базовых деталей

1.1.1 Служебное назначение и классификация базовых деталей. Технические условия и нормы точности. Заготовки станин

Станины, рамы станков, сборочных, измерительных, транспортных, энергетических и других машин и агрегатов предназначены для обеспечения необходимых относительных положений и движений присоединяемых к ним сборочных единиц и деталей в условиях допустимых воздействий рабочих нагрузок и внешней среды в течение заданного периода эксплуатации [5, 6].

Необходимые параметры служебного назначения станины станка обеспечиваются совокупностью определенных свойств станины, к которым относятся: 1) геометрическая точность поверхностей основных и вспомогательных баз и точность их относительного положения; 2) статическая и динамическая жесткость станины; 3) износостойкость направляющих; 4) тепловая стабильность; 5) отсутствие коробления; 6) малый и стабильный коэффициент трения по направляющим.

Конструктивные формы и размеры станин определяются компоновкой и конструкцией машины или станка, служебным назначением станины, а также выбранным материалом и методом изготовления станины, определяющих конструктивные отличия в связи с особенностями расчета и требованиями к технологичности конструкции.

По расположению станины могут быть горизонтальными, вертикальными и наклонными. Станины могут быть цельными и сборными.

В соответствии со служебным назначением все станины станков и других машин можно разделить на две группы.

1 Станины без направляющих, к служебному назначению которых входит только обеспечение нужного относительного положения присоединяемых к ним сборочных единиц и деталей.

2 Станины с направляющими, к служебному назначению которых входит помимо обеспечения нужного положения и обеспечения нужных движений устанавливаемых на направляющих узлов: кареток, суппортов, столов и т.п.

Станины второго типа отличаются количеством систем направляющих, их формой, конструкцией, относительным расположением в пространстве. По обеспечиваемой траектории движения направляющие делятся на прямолинейные и круговые, по виду трения – на направляющие скольжения, качения и комбинированные. По форме направляющие делятся на плоские, призматические, цилиндрические. Направляющие могут быть выполнены вместе со станиной, или накладными в виде планок или пластин, прикрепляемых к станине винтами или с помощью клея.

Технические требования к станинам должны регламентировать допустимые отклонения размерных параметров и характеристики свойств материалов, выполнение которых при изготовлении станины обеспечит выполнение станиной служебного назначения при минимальных затратах.

В качестве примера можно привести требования к станине прецизионного станка (рисунок 1.1).

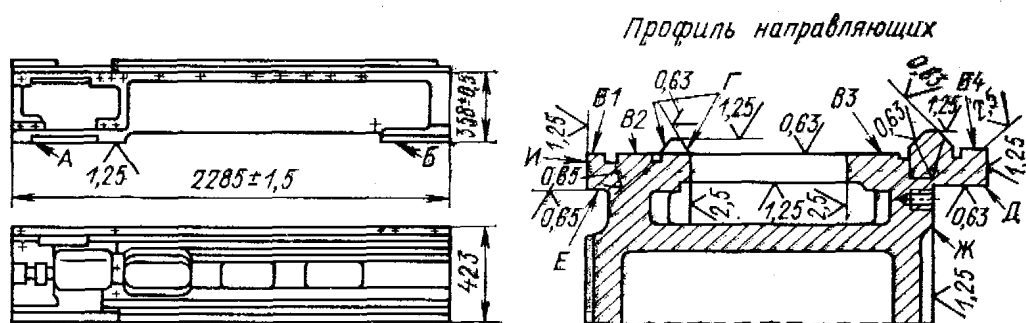


Рисунок 1.1 – Литая станина прецизионного станка

Материал – чугун СЧ30 ГОСТ 1412-79; допуск плоскостности поверхностей А и Б 0,003 мм; допуск прямолинейности поверхности Г в вертикальной плоскости 0,012/1000 мм (допускается только выпуклость); из-

вернутость направляющих поверхностей B_1, B_2, B_3, B_4 не более 0,025 мм на всей длине направляющих; допуск параллельности поверхностей Д и Е направляющим поверхностям B_1 и B_4 0,015 мм на длине 1000 мм; допуск перпендикулярности поверхности Ж в общей прилегающей поверхности B_1-B_3 0,03 мм на длине 250 мм.

Заготовки станин. Заготовки станин должны иметь высокую износостойкость и твёрдость монолитных направляющих, недопустимо отбеливание чугуна в тонких стенках, что приводит к большим напряжениям, короблению, трещинам [10].

Для станин используют модифицированный чугун. Для получения высококачественных отливок используют нелегированный чугун оптимизированного состава марок СЧ20, СЧ25, СЧ30. Массивные станины с монолитными направляющими отливают с использованием холодильников, ускоряющих охлаждение направляющих и повышающих их твердость.

Сварные станины изготавливают из листовой стали марок Ст3, Ст4, Ст5 и других толщиной 3...12 мм. Кроме того при изготовлении заготовки станины используют элементы, изготовленные из профильного проката, в том числе швеллеры, полые профили, прямоугольного сечения.

Сварные станины на 30...40 % более экономичны в изготовлении по сравнению с литыми чугунными станинами и имеют несколько преимуществ: меньшую (на 30...40 %) массу при одинаковой жесткости; меньшую стоимость обработки резанием; большие возможности автоматизации изготовления заготовок станин на базе оборудования с ЧПУ.

Станины и основания некоторых станков могут быть изготовлены из бетона, железобетона и полимербетона. Бетонные конструкции необходимо армировать стальным каркасом. Железобетонные конструкции станин используют для тяжелых станков.

Полимербетон, например акрилбетон, эпоксидный бетон, полиэфирбетон и др., имеет стабильность размеров, высокую демпфирующую способность, устойчивость к воздействию различных агрессивных сред: кислот, масел, СОЖ. Станины из полимербетона должны иметь стенки толщиной не менее 100 мм, а углы наклона 12...15°. К полимербетонному блоку присоединяют металлические элементы (планки, плиты, направляющие) приклеиванием, а тяжелонагруженные детали дополнительно закрепляют винтами. Трудоемкость изготовления полимербетонных станин в 1,5-3 раза меньше чугунных станин.

Уменьшение коробления станин. Для уменьшения коробления в технологическом процессе изготовления металлических станин предусматривают операции, снижающие остаточные напряжения, способствуют более равномерному распределению напряжений по объему станины или упрочня материалы.

Естественное старение осуществляют путем длительной выдержки заготовок или станин после черновой обработки на открытом воздухе: в течение не менее 3 месяцев выдерживают литые станины станков нормальной точности, не менее 6 месяцев – станины станков повышенной

точности после черновой обработки. Для станков высокой точности выполняют однократное старение: не менее 6 месяцев после черновой обработки и затем не менее 3 месяцев после получистовой обработки. Недостаток – большая длительность процесса. Преимущества – не требуется дополнительное оборудование, кроме транспортно-складского, а также высокая надежность снятия остаточных напряжений в отливках станин.

Все другие методы, снижающие коробление станин, называются искусственным старением.

Статическая перегрузка станины выполняется грузами, домкратами, прессами, приспособлениями или под действием собственной массы станины. Нагрузка должна вызвать изгиб в направлении наименьшей жесткости станины и вызвать дополнительные напряжения составляют 20...60 % предела прочности материала. При этом происходит перераспределение остаточных напряжений, а также упрочнение материала станины, повышение предела текучести. Количество нагрузок станины на каждую сторону должно быть не менее трех с выдержкой под нагрузкой не менее 3 сек.

Виброобработка станин выполняется с помощью вибраторов, установленных на станину. Под действием вибрации происходит стабилизация размеров без деформации станин. Использование вибраторов с плавной регулировкой частоты колебаний позволяет выполнить виброобработку станины на нескольких (не менее трех) резонансных частотах по 3...5 мин в диапазоне 10...150 Гц. Процесс продолжается 30...45 мин. и обеспечивает снижение напряжений на 50 %.

Низкотемпературный отжиг снижает остаточные напряжения в заготовках на 60...70 %. В зависимости от марки чугуна станины температуру печи выбирают 520...650 °С. При такой температуре заготовку выдерживают в печи не менее 3 часов из расчета 1,5 часа на каждые 25 мм наибольшей толщины заготовки.

Термоудар используют для заготовок станин массой не более 5 т, длиной не более 3 м при отношении толщины стенки к удвоенной приведенной толщине направляющих не более 0,7. Заготовку загружают в печь, выдерживают в печи при температуре 400...600 °С в течение 5...40 мин, затем охлаждают на воздухе.

Ускоренный отжиг рекомендуется для тех же заготовок, для которых выполняется и термоудар, но температура печи после загрузки заготовок уменьшается ниже 400 °С. После загрузки заготовки в печь при температуре 340...360 °С выполняют нагрев до этой температуры, выдержку заготовки в течение 1,5...4,5 часа в печи и затем охлаждения заготовки на воздухе.

Упрочняющее тепловое старение используют для жестких станин и для станин с поверхностно-закаленными направляющими, когда невозможно использование виброобработки. Заготовку нагревают вместе с печью со скоростью не более 150 °С/ч до температуры (250 ± 30) °С [если есть поверхностно-закаленные детали, то нагрев допустимый до (180 ± 15) °С]. Далее заготовку выдерживают в печи не менее 5 часов, после чего охлаждают вместе с печью или на воздухе.

Для уменьшения коробления станин используют комбинированные способы, например, низкотемпературный отжиг с последующим естественным старением для станин станков классов точности А и С.

1.1.2 Черновая обработка базовых деталей

Черновую обработку заготовки станины начинают с обработки общих технологических баз, которыми для горизонтальных станин является плоскость основания и платики на боковой стороне станины [6]. Заготовка базируется по направляющим.

Черновая обработка основания возможна различными методами: торцевым фрезерованием, строганием, точением на токарно-карусельных станках, черновым шлифованием торцом сегментного шлифовального круга, периферией шлифовального круга или абразивной лентой на ленточно-шлифовальном станке. Выбор метода черновой обработки станин выполняется с учетом формы контура обрабатываемой поверхности, припуска, количества заготовок в партии, наличия оборудования и других условий производства. Выбор оптимального метода обработки осуществляется по минимуму приведенных затрат или себестоимости обработки.

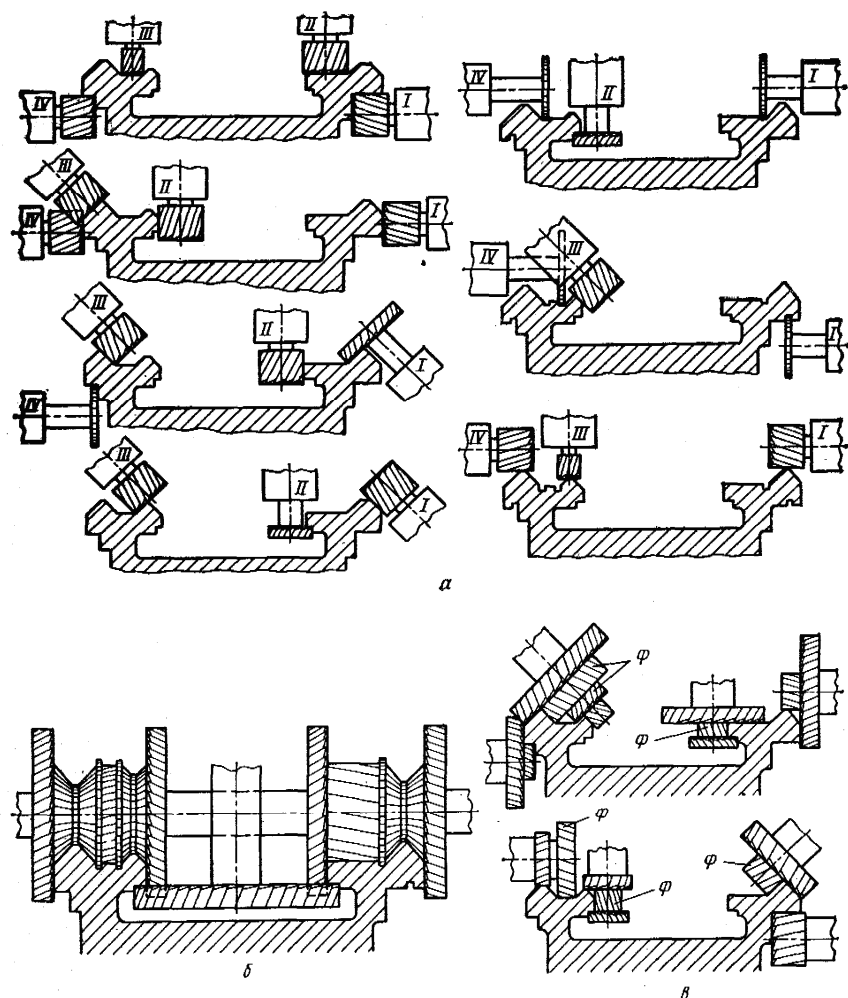
Черновая обработка направляющих выполняется после обработки технологических баз: основания и боковых платиков. Выбор метода обработки подобен методу обработки основания. Прямолинейные чугунные направляющие обрабатывают, как правило, строганием или фрезерованием. Круговые направляющие обрабатывают на токарно-карусельном станке.

Фрезерование направляющих может выполняться на универсальных и специальных многошпиндельных продольно-фрезерных станках, а также многоцелевых станках с ЧПУ различными способами.

1 Фрезерование стандартными торцевыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами. Обработка направляющих станины токарного станка на четырехшпиндельном продольно-фрезерном станке показана на рисунке 2, а. Для полной обработки поверхностей направляющих необходимо в данном случае семь переходов со сменой фрез и положения фрезерных бабок. Обработка направляющих может осуществляться за один или несколько установов заготовки станины.

2 Фрезерование направляющих специальным набором фрез на продольно-фрезерном станке. Две горизонтальные фрезерные бабки вращают одну оправку с набором профильных фрез, обеспечивающих полную обработку профиля направляющих за один рабочий ход (рисунок 1.2, б). Платики и канавки обрабатываются в отдельной операции еще четырьмя фрезами. Недостаток – высокая стоимость специальных фрез, поэтому метод используют в крупносерийном производстве. Для направляющих сложного профиля необходимо в набор включать фрезы из быстрорежущей стали, по которым устанавливают режимы резания, что влияет на производитель-

ность. Кроме того, нужен станок достаточной мощности привода, а также оправка высокой жесткости.



*а – стандартными фрезами; б – специальным набором фрез;
в – несколькими наборами фрез; ф – специальные фрезы в наборе*
Рисунок 1.2 – Способы фрезерования прямолинейных направляющих

3 Фрезерование направляющих несколькими наборами фрез. Этот метод является промежуточным между фрезерованием стандартными фрезами и фрезерованием набором фрез (рисунок 1.2, в). Полная черновая обработка направляющих может быть выполнена либо на двух четырехшпиндельных продольно-фрезерных станках или на одном восьмишпиндельном станке. Метод целесообразно использовать в крупносерийном производстве.

1.1.3 Чистовая обработка базовых деталей

Чистовая обработка станин выполняется после черновой обработки и старения литых станин или после термо- или виброобработки сварных заготовок станин. Целью чистовой обработки является обеспечить нужную

размерную точность станины (точность расстояний, поворотов, формы и шероховатость поверхностей), удаление дефектного слоя после черновой обработки [6].

Обработка основания станины, направляющих, верхних, боковых и торцевых поверхностей выполняется фрезерованием, строганием и шлифованием на соответствующих станках подобно черновой обработке. Чистовую обработку заготовки начинают с обработки технологических баз, т.е. по обработке у заготовок горизонтальных станин плоскости основания и боковых платиков. Чистовое фрезерование основания и других поверхностей станины выполняют торцевыми фрезами, оснащенными пластинами твердого сплава или сверхтвердого материала.

Обработка направляющих и других высокоточных поверхностей станины выполняется фрезерованием, строганием, шлифованием или шабрением. Предварительная обработка направляющих и других поверхностей может быть выполнена на продольно-фрезерных, продольно-строгальных универсальных или специальных станках, а также на многоцелевых станках с ЧПУ.

Канавки, уступы, фаски направляющих могут быть обработаны окончательно в соответствии с требованиями чертежа. Отклонение от прямолинейности направляющих и отклонения от плоскостности других поверхностей должны быть не более 0,05 мм на длине 1000 мм и параметр шероховатости поверхностей $Ra = 1,25$ мкм. Дальнейшую предварительную или окончательную обработку направляющих и других вспомогательных поверхностей баз станин необходимо выполнять на продольно-фрезерных или продольно-строгальных станках повышенной точности, оставляя припуск 0,1...0,2 мм на сторону под шабрение или шлифование. Окончательное строгание направляющих и других точных поверхностей вспомогательных баз станины выполняется широкими резцами на тех же режимах, что и при строгании основания. Отклонение от прямолинейности, плоскостности и вогнутость направляющих после строгания не более 0,015 мм на 1000 мм длины.

Обработка торцевых стенок горизонтальных станин выполняется на горизонтально-расточных и многоцелевых станках.

Обработка отверстий может выполняться на радиально-сверлильных станках с предварительной разметкой или по накладному кондуктору. Обработка отверстий на многоцелевом станке выполняется по программе без кондукторов и без предварительной разметки заготовок.

1.1.4 Отделочная обработка направляющих

Отделочная обработка поверхностей направляющих станин выполняется на последнем этапе технологического процесса шабрением, шлифованием, тонким фрезерованием специальными фрезами [6].

Шабрение используют для обработки незакаленных направляющих и других поверхностей станин в случаях: необходимости обеспечения высокой точности (отклонение менее 10 мкм на 1000 мм), что не может быть получено с помощью обработки резанием; обработки направляющих большой длины; обработки труднодоступных граней, торцевых поверхностей. Шабрение позволяет получить точность направляющих в пределах 2 мкм на 1000 мм длины. Различают два способа шабрения: ручное и механическое, при котором скорость резания обеспечивается приводом, а подача шабера осуществляется вручную.

Шабрение выполняется либо по сопряженной поверхности присоединяемой детали или по эталонной поверхности шабровочной линейки или плиты. Для определения выступающих точек контакта обрабатываемой поверхности станины с эталонной на обрабатываемую поверхность наносят тонкий слой краски. Глубина резания при предыдущем шабрении может достигать 0,04 мм, при окончательном – менее 5...10 мкм. При окончательном шабрении надо обеспечить нужное количество точек контакта на площади квадрата размером 25х25 мм. Для станков нормальной точности на направляющих надо обеспечить до 20 точек в квадрате 25х25 мм, для станков более высоких классов точности (П, В, А) – 25...30 точек. Лучше всего обрабатывается шабрением серый чугун твердостью до HB220. Шероховатость поверхности при механическом шабрении составляет $R_a = 3...5$ мкм, при ручном – $R_a = 1...3$ мкм. Недостаток шабрения – низкая производительность и высокая себестоимость обработки.

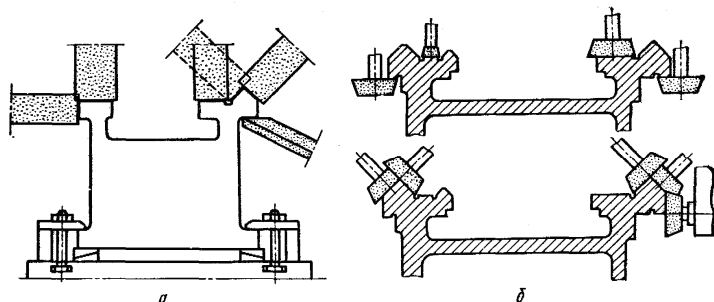
Поверхностное пластическое деформирование направляющих выполняется обкаткой направляющих станины роликовыми или шариковыми упрочняющими устройствами на продольно-строгальном станке. В результате поверхностный слой направляющих упрочняется на глубину до 0,4 мм, создается наклеп и повышается твердость на HB20. Также уменьшается шероховатость поверхности направляющих.

Термическая обработка направляющих является основным методом укрепления чугунных и стальных направляющих станин. Монолитные направляющие из чугуна СЧ20, СЧ25, СЧ30 и других марок подвергаются поверхностной закалке до твердости HRCэ 45...52. Глубина закаленного слоя 1...3 мм. Закалка направляющих выполняется на специальной установке с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Над направляющими с зазором 5...10 мм устанавливаются индукторы. Нагретые ТВЧ направляющие охлаждаются водой, подаваемой под давлением $(1...2) \cdot 10^5$ Па в непосредственной близости от индукторов, и закаляются.

Поверхностная закалка направляющих может также выполняться лазером. Благодаря большой скорости нагрева и охлаждения образуется мелкодисперсная и высокопрочная структура поверхностного слоя. Общий нагрев станины при лазерной поверхностной закалке меньше, чем при ТВЧ, поэтому температурные деформации станины при закалке лазером меньше, чем при ТВЧ. Припуск на дальнейшую обработку направляющих станины можно уменьшить.

Закаленные чугуны или стальные направляющие твердостью до HRCэ 65 могут быть обработаны шлифованием и фрезерованием фрезами, оснащенными пластинками из сверхтвердого материала, например двухслойным гексанитом.

Шлифование направляющих может выполняться торцом или периферией шлифовального круга (рисунок 1.3). При шлифовании периферией круга производительность на 30...40 % больше, достигается более высокая точность формы и меньше шероховатость обработанной поверхности.



а – периферией кругов; б – торцами шлифовальных кругов

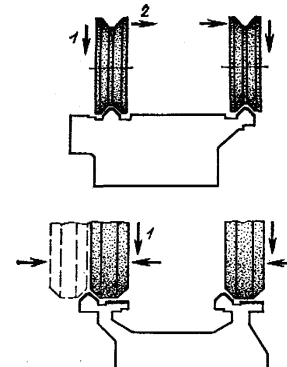
Рисунок 1.3 – Шлифование направляющих станин

Шлифование открытых направляющих и других поверхностей выполняют в основном периферией круга с охлаждением СОТС. Призматические направляющие лучше шлифовать профильным кругом (рисунок 1.4).

Шлифование направляющих эльборовыми кругами позволяет получить отклонения от плоскостности поверхности до 0,005 мм на 1000 мм длины и параметр шероховатости $Ra = 0,63...0,16$ мкм. В серийном производстве шлифование направляющих целесообразно выполнять на продольно-шлифовальных станках с ЧПУ.

Фрезерование закаленных направляющих выполняется фрезами со вставными ножами, оснащенными режущими пластинками из сверхтвердого материала. При обработке закаленной стали и чугуна, как правило, используют пластины круглой формы с передним углом -8° . Глубина резания 0,05...3 мм, подача при обработке чугуна 0,1...0,7 мм/зуб и при обработке стали 0,01...0,8 мм/зуб, скорость резания 300...420 м/мин для чугуна и 75...300 м/мин для стали.

Для уменьшения шероховатости поверхности направляющих чистовую обработку фрезерованием можно выполнять однозубой фрезой, оснащенной гексанитом.



*1 – подача на врезание;
2 – ускоренное перемещение*

Рисунок 1.4 – Шлифование направляющих профильными кругами

1.1.5 Технологический процесс изготовления базовых деталей

А 005 Продольно-фрезерная (продольно-строгальная)

Б Продольно-фрезерный (продольно-строгальный) станок

О Фрезеровать (строгать) основание и два передних платика

Технологическая база – поверхность направляющих, торец

А 010 Продольно-фрезерная (продольно-строгальная)

Б Продольно-фрезерный, многоцелевой с ЧПУ, (продольно-строгальный) станок

О Фрезеровать (строгать) направляющие и платики

Технологическая база – поверхность основания, торец

А 015 Термическая (искусственное старение)

А 020 Продольно-фрезерная

Б Продольно-фрезерный станок

О Фрезеровать основание и два передних платика

Технологическая база – поверхность направляющих, боковая поверхность, торец

А 025 Продольно-фрезерная

Б Продольно-фрезерный станок

О Фрезеровать занижения под переднюю бабку и коробку подач

Технологическая база – поверхность основания, боковая поверхность, торец

А 030 Продольно-фрезерная

Б Продольно-фрезерный станок

О Фрезеровать направляющие и платики передней и задней поверхностей

Технологическая база – поверхность основания, боковая поверхность

А 035 Продольно-строгальная

Б Продольно-строгальный станок

О Строгать вертикальные поверхности направляющих, канавки и фаски

Технологическая база – поверхность основания, боковая поверхность

А 040 Слесарная

А 045 Термическая (закалка направляющих ТВЧ)

А 050 Продольно-шлифовальная

Б Продольно-шлифовальный станок

О Шлифовать основание

Технологическая база – поверхность направляющих, боковая поверхность, торец

А 055 Продольно-шлифовальная

Б Продольно-шлифовальный станок

О Шлифовать направляющие предварительно

Технологическая база – поверхность направляющих, боковая поверхность

А 060 Радиально-сверлильная
Б Радиально-сверлильный станок
О Сверлить отверстия с четырех сторон станины
Технологическая база – поверхность основания, боковая поверхность, торец
А 065 Сборочная
Б Сборочный стенд
О Собрать станину с основанием
Технологическая база – поверхность основания
А 070 Продольно-шлифовальная
Б Продольно-шлифовальный станок
О Шлифовать направляющие окончательно
Технологическая база – поверхность направляющих, боковая поверхность, торец
А 075 Контрольная

1.1.6 Методы и средства контроля базовых деталей

Контроль станин выполняют в процессе изготовления, при сборке станка, в процессе эксплуатации [5, 6]. При изготовлении контролируют размерные параметры станины и при необходимости свойства материала.

Свойства чугуна литых направляющих определяют путем испытания образцов, которые вырезаются из специально предусмотренных в отливке приливов или методами неразрушающего контроля.

Твердость литых направляющих измеряется после черновой обработки в нескольких местах переносным прибором ТБП. Твердость закаленных направляющих контролируют с помощью прибора ТРП.

Шероховатость обработанных поверхностей станины измеряют профилометром или определяют сравнением с образцами шероховатости.

Плоскостность направляющих и других поверхностей станины можно контролировать по краске подсчетом количества точек контакта измерительной линейки, например ШМ-1-2000Ш с направляющими.

Для определения отклонения от плоскостности можно установить измерительную линейку на концевые меры одинаковой высоты и измерить расстояния от плоскости линейки к направляющим в нескольких местах с помощью измерительной головки. Также можно использовать для измерения отклонения от плоскостности оптические плоскомеры ИС-45.

Прямолинейность направляющих контролируют с помощью уровня, автоколлиматора или лазерного интерферометра. Схема контроля прямолинейности с помощью автоколлиматора приведена на рисунке 1.5.

Визирную трубу 1 автоколлиматора устанавливают так, чтобы оптическая ось была параллельной направляющим. Зеркало 2 устанавливают на специальном мостике 3 на направляющих.

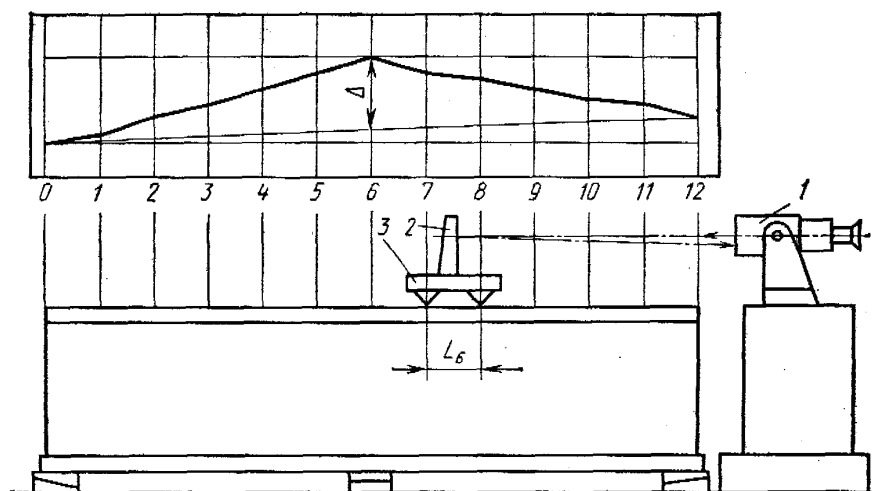


Рисунок 1.5 – Схема контроля прямолинейности направляющих с помощью автоколлиматора

Мостик 3 с зеркалом перемещают вдоль направляющих с шагом, равным расстоянию между опорами моста, которое не должно превышать 10 % общей длины контролируемой поверхности. При каждом положении мостика наблюдают через окуляр и подсчитывают отклонения зеркальной марки, вызываемые угловым отклонением мостика 3. По полученным данным строится график, по которому определяют отклонения от прямолинейности. Автоколлиматор АК-0,5У имеет цену деления $2,4 \cdot 10^{-6}$ рад, погрешность измерения $\pm 14,5 \cdot 10^{-6}$ рад на всем диапазоне измерения.

Наиболее высокую точность и уровень автоматизации контроля обеспечивают лазерные интерферометры. Схема контроля прямолинейности направляющих лазерным интерферометром подобная схеме контроля автоколлиматором.

Форму профиля направляющих контролируют специальным шаблоном и набором щупов.

Параллельность поверхностей можно контролировать с помощью уровня. Уровень сначала устанавливают на одну базовую поверхность. Станину выставляют по уровню, затем уровень переносят на другую поверхность и отсчитывают отклонения от параллельности. *Отклонение от перпендикулярности* поверхностей определяют аналогично с помощью рамного уровня.

Отклонение от параллельности и перпендикулярности поверхностей направляющих можно определить с помощью измерительных головок, установленных на образцовом мостике, который передвигают по направляющим.

Износ направляющих в процессе эксплуатации станин можно контролировать измерением под микроскопом длины ямок глубиной 0,1...0,15 мм, которые наносят на направляющие твердосплавным роликом с помощью переносного прибора ПВЛ-2.

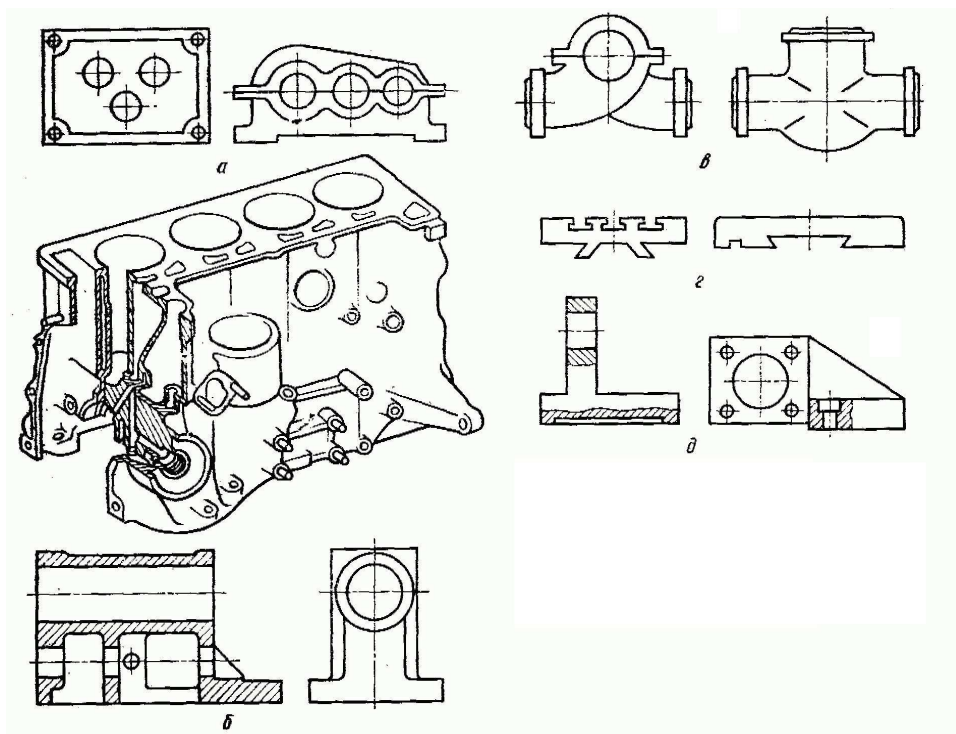
1.2 Технология изготовления корпусных деталей

1.2.1 Служебное назначение и классификация корпусных деталей.

Технические условия и нормы точности. Материалы и методы получения заготовок

Корпусные детали машин являются базовыми деталями, на них устанавливают различные детали и сборочные единицы, точность относительного положения которых должна быть обеспечена как в статике, так и в процессе работы машины под нагрузкой [2, 5, 6, 7, 11].

Корпусные детали можно разделить на группы (рисунок 1.6).



а – коробчатого типа – цельные и разъемные; б – с гладкими внутренними цилиндрическими поверхностями; в – корпуса сложной пространственной геометрической формы; г – корпусные детали с направляющими поверхностями; д – детали типа кронштейнов, угольников

Рисунок 1.6 – Группы корпусных деталей

Первая группа – корпусные детали коробчатой формы в виде параллелепипеда, габариты которых имеют одинаковый порядок. К этой группе относятся корпуса редукторов, корпуса коробок скоростей, коробок подачи, шпиндельных бабок (рисунок 1.6, а). Основными базами таких корпусов являются плоские поверхности, а вспомогательными – главные отверстия и торцы, предназначенные для базирования валов и шпинделей. Корпуса коробчатой формы могут быть цельными и разъемными; плоскость разреза может проходить по осям главных отверстий.

Вторая группа – корпусные детали с гладкими внутренними цилиндрическими поверхностями, протяженность которых превышает их диаметральные размеры. К этой группе относятся блоки цилиндров двигателей и компрессоров, корпуса различных цилиндров, пневмо- и гидроаппаратуры (рисунок 1.6, б), корпуса задних бабок, обеспечивающие выдвижение пиноли и заднего центра.

Третья группа – корпусные детали сложной пространственной геометрической формы. К ним относятся корпуса паровых и газовых турбин, центробежных насосов, коллекторов, кранов, вентилях (рисунок 1.6, в). Сложная пространственная форма и геометрические размеры таких корпусов предназначены для формирования нужных потоков движения газов или жидкостей.

Четвертая группа – корпусные детали с направляющими поверхностями – столы, спутники, каретки, салазки, суппорты, ползуны, планшайбы (рисунок 1.6, г). В процессе работы эти детали выполняют возвратно-поступательное движение по направляющим поверхностям, обеспечивая точное относительное перемещение обрабатываемых заготовок и режущего инструмента.

Пятая группа – корпусные детали типа кронштейнов, уголков, стоек плит и крышек (рисунок 1.6, д). В эту группу входят корпусные детали, выполняющие функцию дополнительных опор для обеспечения требуемой точности относительного положения отдельных механизмов, валов, зубчатых колес.

В зависимости от конструктивного исполнения и сложности к корпусным деталям предъявляют следующие технические требования.

1 Точность геометрической формы плоских базирующих поверхностей регламентируются как прямолинейность поверхности в заданном направлении на определенной длине и как плоскостность поверхности в пределах ее габаритов. Для поверхностей размером до 500 мм отклонения от плоскостности и параллельности в пределах 0,01...0,07 мм, а в ответственных корпусах – 0,002...0,005 мм.

2 Точность относительного поворота плоских базирующих поверхностей. Предельные отклонения от параллельности или перпендикулярности одной плоской поверхности относительно другой составляют 0,015/200...0,1/200, а для деталей повышенной точности – 0,003/200...0,01/200.

3 Точность расстояния между двумя параллельными плоскостями. Для большинства корпусных деталей находится в пределах 0,02...0,5 мм, а у корпусов повышенной точности – 0,005...0,01 мм.

4 Точность диаметральных размеров и геометрической формы отверстий. Диаметральные размеры главных отверстий выполняют по 6...11-му квалитетам. Отклонение геометрической формы отверстий – отклонение от круглости в поперечном сечении ограничивают в пределах 1/5...1/2 допуска на диаметр отверстия.

5 Точность относительного углового положения осей отверстий. Отклонение от параллельности и перпендикулярности осей главных отверстий относительно плоских поверхностей составляют $0,01/200 \dots 0,15/200$, предельные угловые отклонения оси одного отверстия относительно оси другой – $0,005/200 \dots 0,1/200$.

6 Точность расстояния от осей главных отверстий к базовой плоскости для большинства базовых деталей составляет $0,02 \dots 0,5$ мм. Точность расстояний между осями главных отверстий $0,01 \dots 0,15$ мм. Соосность отверстий в пределах $0,002 \dots 0,05$ мм.

7 Параметр шероховатости плоских базирующих поверхностей $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм, параметр шероховатости поверхностей главных отверстий $Ra = 1,25 \dots 0,16$ мкм, а для ответственных деталей до $Ra = 0,08$ мкм.

Материалы и способы получения заготовок корпусных деталей.

В качестве материалов для изготовления различных корпусных деталей используют, главным образом, серый чугун, реже углеродистую сталь, используют также ковкий чугун, легированную сталь и сплавы цветных металлов.

Корпусные детали металлорежущих станков, корпуса сельскохозяйственных и подъемно-транспортных машин, корпуса различных стационарных редукторов, центробежных насосов изготавливают из серого чугуна марок СЧ15, СЧ18, СЧ21.

Плиты спутников выполняют из сталей 30Л, 40Х, 12ХНЗА, 20ХЗВМФ. Корпусные детали ходовой части машины, работающие под большими нагрузками, выполняют из серого чугуна СЧ21, СЧ24, а также из ковкого чугуна КЧ35-10. Блоки цилиндров, головки блоков двигателей выполняют из чугуна марок СЧ21, СЧ24 и алюминиевых сплавов.

Корпусные детали, работающие при соприкосновении с агрессивной средой, выполняют из коррозионностойких материалов, в частности легированных сталей 12Х18Н9Т, 20Х23Н13, а также бронзы и литейной латуни ЛК80-ЗЛ. Для корпусных деталей малой массы используют алюминиевые и магниевые сплавы АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛ13.

Сварные корпусные детали редукторов, сварные детали типа кронштейнов, стоек изготавливают из листовой малоуглеродистой стали Ст3, Ст4. Штамповарные картеры задних мостов автомобилей выполняют из листовой стали 35, 40.

Заготовки для корпусных деталей получают литьем и сваркой.

Основными способами получения отливок являются: литье в песчаную форму, в кокиль, под давлением, литье в оболочковые формы, а для малых по массе и габаритам деталей – литье по выплавляемым моделям.

Наиболее распространенным методом является литье в песчаную форму. В единичном производстве и при изготовлении сложных отливок используют ручную формовку, в серийном и массовом производстве для малых и средних отливок используют машинную формовку.

Литье в кокиль используют для получения фасонных отливок из цветных металлов, чугуна и стали в условиях серийного и массового производства размерами до 1,5 м и массой до нескольких тонн. Точность раз-

меров отливок в кокиль 11, 12-го квалитетов, параметр шероховатости поверхностей отливок $Ra = 10...5$ мкм.

Литьем под давлением получают точные отливки корпусных деталей из цветных металлов. Точность размеров таких отливок соответствует 11...14-му квалитетам, а отдельных размеров – 9...10-м квалитетам, шероховатость поверхностей отливок $Ra = 5...1,25$ мкм.

Литье в оболочковые формы используют для ответственных фасонных отливок из различных материалов в серийном и массовом производстве. Заготовки имеют наибольшие размеры до 500...700 мм и массу не более 50 кг. Точность размеров отливок 12...14-го квалитетов, шероховатость поверхности $Ra = 10...2,5$ мкм.

Сварные заготовки из стали используют, главным образом, в единичном и мелкосерийном производстве для корпусов относительно простой геометрической формы и для корпусов, воспринимающих ударные нагрузки. Использование сварных заготовок вместо отливок нужно обосновать экономически.

Сварные заготовки, а также отливки подвергают термической обработке. Отливки из серого чугуна подвергаются низкотемпературному отжигу, что обеспечивает снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и стабилизацию размеров детали. Используют также искусственное и естественное старение для снижения внутренних напряжений чугунных отливок.

1.2.2 Способы обработки плоских поверхностей и их технологические возможности

Наружные поверхности заготовок корпусных деталей обрабатывают следующими методами: фрезерованием, строганием, точением, шлифованием и протягиванием [5, 6].

Фрезерование является наиболее распространенным методом обработки наружных поверхностей. Его используют в условиях единичного, серийного и массового производств. В зависимости от типа производства и габаритов обрабатываемых заготовок используют универсально-фрезерные станки с вертикальным и горизонтальным расположением шпинделей, многошпиндельные продольно-фрезерные станки, карусельно-и барабанно-фрезерные станки агрегатного типа, а также станки с ЧПУ и многоцелевые («обрабатывающие центры»).

На универсально-фрезерных станках обрабатывают заготовки корпусных деталей малых габаритов в единичном и мелкосерийном производствах. Многошпиндельные продольно-фрезерные станки используют для обработки крупногабаритных корпусных деталей или для групповой обработки деталей средних размеров в серийном производстве. При групповой обработке последовательно установленных заготовок сокращение машинного времени достигается в результате перекрытия расстояний на врезание и выход фрезы.

Эффективным методом повышения производительности при обработке заготовок корпусных деталей на продольно-фрезерных станках является фрезерование в перекладку. На столе станка устанавливают специальное многоместное приспособление, на котором обрабатываемые заготовки определенным способом ориентируются относительно стола станка и инструмента. За один рабочий ход в каждой позиции обрабатывают одну или несколько поверхностей заготовок. Затем заготовки перекладывают с предыдущей позиции на следующую позицию. По окончании рабочего хода с последней позиции снимают готовую деталь, а на первую позицию устанавливают новую заготовку. Обработку в перекладку можно выполнять по схеме однопотоковой или двухпотоковой обработки.

Строгание наружных плоскостей корпусных деталей используют в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также при обработке крупногабаритных, тяжелых деталей. Эту операцию выполняют на продольно-строгальных станках с использованием вертикальных и горизонтальных суппортов. Производительность строгания можно повысить одновременной обработкой группы заготовок, последовательно установленных в один или два ряда на столе станка. При этом целесообразна параллельная обработка горизонтальных и вертикальных поверхностей с использованием соответствующих суппортов станка.

При строгании можно снимать за один рабочий ход припуск до 15...20 мм, достичь высокую точность по прямолинейности обработанных поверхностей из-за большой жесткости строгальных станков по сравнению с фрезерными головками и относительно малыми температурными деформациями. Стругание используют при обработке заготовок корпусных деталей с направляющими – столов, кареток, ползунов.

На токарно-карусельных станках выполняют точение таких корпусных деталей, как корпуса паровых турбин, компрессоров, центробежных насосов, генераторов, планшайбы станков и крупногабаритные вентили. В условиях серийного производства на токарно-карусельных станках одновременно обрабатывают на открытой плоскости разъема группу небольших корпусов или крышек, устанавливают в приспособлениях, расположенных по периметру планшайбы. При обработке можно удалять припуск до 15 мм, обеспечить достаточно высокие режимы резания и производительность обработки.

Шлифование наружных плоскостей корпусных деталей используют как завершающую обработку, что обеспечивает шероховатость и точность геометрической формы обрабатываемых поверхностей. Шлифование выполняют на плоскошлифовальных станках с прямоугольным или круглым столом. Обработка выполняется периферией плоского круга, торцом чашечного круга или торцевой поверхностью сегментного круга.

Протягивание наружных плоскостей корпусных деталей выполняют в массовом производстве на специализированных протяжных станках горизонтального и вертикального типа. Протягивание является наиболее продуктивным методом обработки, при котором достигается высокая точ-

ность размеров и относительного положения обрабатываемых поверхностей. Фактором, ограничивающим использование протягивания, является относительно высокая стоимость режущего инструмента и возникающие при обработке большие силы резания, исключает обработку нежестких деталей. Протягивание используют для предварительной чистовой и отделочной обработки наружных поверхностей заготовок корпусных деталей.

1.2.3 Обработка основных отверстий. Способы черновой обработки и отделочной обработки основных отверстий

Обработка основных отверстий. Обработку основных отверстий выполняют на расточных, координатно-расточных, сверлильных, агрегатных и других станках, в том числе станках с ЧПУ и многоцелевых станках («обрабатывающих центрах») [6, 9].

Обработку отверстий в корпусных деталях выполняют с использованием различного режущего инструмента: сверл, зенкеров, резцов, расточных головок, разверток, расточных пластин. Для отделочной обработки используют тонкое растачивание, шлифование, хонингование, а также пластическое деформирование.

Сверление и рассверливание отверстий спиральными сверлами позволяет получить точность диаметральных размеров по 11-му, 12-му качествам. Отклонение геометрической формы отверстий диаметром до 50 мм находится в пределах 12...40 мкм, а параметр шероховатости поверхности $Ra = 6,3...12,5$ мкм для сверл диаметром до 15 мм и $Ra = 12,5...25$ мкм для сверл большего диаметра.

Однопроходное зенкерование отверстий в отливке позволяет получить точность диаметральных отверстий по 11-му, 12-му качествам. Погрешность геометрической формы отверстия диаметром 40...150 мм составляет 30...50 мкм. При получистовом зенкеровании обеспечивается точность отверстия по 10-му качеству, отклонения геометрической формы для отверстий диаметром 40...150 мм в пределах 15...20 мкм и параметр шероховатости $Ra = 2,5...5$ мкм.

Растачивание резцами обеспечивает прямолинейность оси обрабатываемого отверстия и более высокую точность его положения относительно базы по сравнению с другими методами. Точность диаметральных размеров при черновом растачивании соответствует 11-му, 12-му качествам, при чистовом – 9-му, 10-му качествам. При чистовом растачивании отклонения геометрической формы отверстий диаметром 50...120 мм не превышает 12 мкм, а параметры шероховатости поверхности $Ra = 2,5...5$ мкм.

Развертывание является одним из методов чистовой и отделочной обработки отверстий, обеспечивающим 6...9-й качества. Развертывание обеспечивает получение правильной геометрической формы отверстия, точных диаметральных размеров и параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25...0,63$ мкм.

Одновременно с обработкой главных отверстий обрабатывают перпендикулярные к ним торцевые поверхности. Для этого используют торцевые резцовые головки, торцевые зенкеры или специальные план-суппорты, обеспечивающие перемещение резца в радиальном направлении. Отклонение от перпендикулярности торца относительно оси отверстия составляет: при подрезке зенкером $(0,01...0,03)/100$, при подрезке резцом $(0,004...0,01)/100$.

В серийных условиях для обработки отверстий используют комбинированный инструмент. При этом одновременно можно совмещать несколько видов обработки при одном относительном перемещении комбинированного инструмента – сверление, зенкерование, растачивание, подрезка торца, развертывание. Это позволяет уменьшить номенклатуру используемого инструмента и обеспечить точное относительное положение комплекта обрабатываемых поверхностей.

Для обработки главных отверстий в корпусных деталях в основном используют горизонтально-расточные и координатно-расточные станки. Точность положения главных отверстий относительно технологических баз и точность межцентровых расстояний достигают одним из следующих способов: по разметке, способом пробных ходов, координатным растачиванием, кнопочным методом или с помощью кондукторов.

Обработка крепежных и других отверстий. Крепежные отверстия и другие мелкие отверстия в корпусных деталях обрабатывают на вертикально-сверлильных, радиально-сверлильных, горизонтально-расточных или агрегатных станках [6, 8, 9]. При этом выполняют сверление, цекование, снятия фасок, нарезание резьбы.

В условиях единичного производства отверстия в корпусах обрабатывают по разметке. Точность межцентровых расстояний и точность размеров, определяющих положение отверстий на плоскости, составляет $\pm (0,25 ... 0,5)$ мм. Как правило, отверстия сверлят за 2–3 перехода. Сначала выполняют центрование отверстия или сверление сверлом большего диаметра. Для отверстия под резьбу диаметром более 25...30 мм кроме сверления выполняют зенкерование или растачивание.

Обработку торцов выполняют зенковками или подрезными резцами с осевой подачей. Перед нарезанием резьбы в отверстиях снимают фаску с помощью конических зенковок, резцов или сверл большего диаметра. Нарезание резьбы выполняют машинными метчиками.

В условиях серийного производства мелкие отверстия сверлят с помощью кондукторов – накладных, скальчатых, коробчатых. Инструмент направляют кондукторные втулки, что исключает необходимость разметки и предварительной зацентровки отверстий. Точность положения отверстий относительно баз кондукторов составляет 0,1...0,2 мм.

Отделочная обработка основных отверстий. Для получения отверстий 6-го, 7-го квалитетов используют отделочные операции: развертывание, тонкое растачивание, планетарное шлифование, хонингование, растачивание роликами, а в отдельных случаях притирку и шабрение [6, 9].

Развертывание является наиболее распространенным методом отделки главных отверстий в условиях единичного и серийного производства. Так как развертка, как правило, самоустанавливается по отверстию, то для обеспечения соосности предварительно обработанных отверстий используют комбинированные развертки, с помощью которых выполняется одновременное развертывание соосных отверстий.

Тонкое алмазное растачивание выполняют на специальных алмазно-расточных станках, которые имеют высокую жесткость, повышенную виброустойчивость и могут иметь вертикальную или горизонтальную компоновку с одним или несколькими шпинделями. Растачивание отверстий корпусных деталей выполняют однолезвийными резцами, оснащенными твердосплавными пластинами, или резцами с пластинами сверхтвердых материалов марки СТМ. Резцы устанавливают в жестких консольных оправках, в которых отношение $L/d \leq 7$. Наиболее приемлемым является вертикальное расположение оси шпинделя станка, при котором сила тяжести расточной оправки практически не влияет на точность геометрической формы отверстия.

Тонкое алмазное растачивание обеспечивает точность диаметральных размеров отверстий по 6-му, 7-му квалитетам, отклонение геометрической формы (овальность, конусообразность) отверстий диаметром до 120 мм не превышает 0,003...0,005 мм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 1,25...0,3$ мкм. Точность межцентровых расстояний и положения отверстия относительно базы составляет 0,005...0,03 мм.

Внутреннее планетарное шлифование используют для отделочной обработки отверстий диаметром более 150 мм. Существуют также координатные планетарно-шлифовальные станки, позволяющие обрабатывать в корпусных деталях отверстия диаметром от 10 мм и выше. Планетарное шлифование обеспечивает получение отверстий по 6-му, 7-му квалитетам, погрешность геометрической формы отверстий не более 0,004 мм и параметр шероховатости $Ra = 0,32...0,16$ мкм. Координатные планетарно-шлифовальные станки позволяют получить положение оси отверстия относительно базы и межцентровое расстояние с точностью до 0,01 мм. Недостаток – низкая производительность.

Хонингование используют для отделочной обработки сквозных гладких отверстий диаметром 25...500 мм в корпусных деталях, главным образом из чугуна и стали. С помощью хонингования получают точность диаметральных размеров отверстий по 6-му квалитету, точность геометрической формы отверстий диаметром до 250 мм (овальность и конусообразность) в пределах 0,003...0,004 мм, параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,16...0,004$ мкм. Хонингование выполняют на специальных одношпиндельных или многошпиндельных станках с вертикальной или горизонтальной компоновкой. Хонингование целесообразно выполнять после операции растачивания, в результате которой обеспечивается необходимое относительное положение оси отверстия. Для наиболее ответственных корпусов хонингование выполняют после тонкого растачивания. Хонинго-

вание особенно эффективно при необходимости обработки высокоточных длинных отверстий сравнительно большого диаметра. В машиностроении хонингование используют при обработке отверстий в блоках цилиндров различных двигателей и компрессоров, при обработке отверстий под пиноли и выдвижные шпиндели в цилиндрах и корпусах.

Раскатывание отверстий – метод отделочной обработки, основанный на пластическом деформировании обрабатываемой поверхности. Раскатывание выполняют на сверлильных, токарных или специальных станках. Инструментом являются различные по конструкции многороликовые раскатки, которые вращаются относительно оси отверстия. Ролики изготавливают из качественных инструментальных сталей, их твердость после закалки HRCэ 62...64. Раскатывание выполняют после чистового растачивания, точность отверстия под раскатывания – 0,01...0,015 мм.

Раскатывание не исправляет положения оси отверстия, раскатка самоустанавливается по отверстию, поэтому точность положения отверстия относительно базы обеспечивается на расточной операции. Раскатывание используют для отделки сквозных и глухих отверстий в корпусах из различных материалов, которые могут пластически деформироваться в холодном состоянии. Твердость таких материалов не превышает HRCэ 35...40. Раскатывание обеспечивает точность отверстия по 6...9-м квалитетам, параметр шероховатости $Ra = 0,016...0,008$ мкм, погрешность геометрической формы для отверстий диаметром до 120 мм составляет 0,005...0,008 мм. Поверхностный слой после раскатывания имеет твердость, увеличивается на 20 %. Метод производительнее хонингования и используется для отделки длинных отверстий в стальных корпусных деталях типа корпусов гидроцилиндров, пиноли, поршневых и винтовых насосов, гидравлических стоек и др.

В единичном и мелкосерийном производстве для получения высокой точности размеров и геометрической формы отверстий малых и средних диаметров используют притирку, которая выполняется с использованием абразивных порошков и паст по сопряженной детали или с использованием специальных притиров. Операцию можно выполнять на сверлильных, токарных станках или вручную.

1.2.4 Технологический процесс изготовления корпусных деталей

Обработка корпуса призматического типа с плоским основанием и основным отверстием с осью, параллельной основанию [7]

А 005 Заготовительная

Отливка или сварная конструкция

Подготовительные операции

А 010 Термическая (отжиг низкотемпературный для уменьшения внутренних напряжений)

А 015 Обрубка и очистки заготовки

А 020 Малярная

А 025 Контрольная

О Проверка корпуса на герметичность. Проводится для корпусов, которые заполняются при работе маслом

А 030 Контрольная

О Проверка корпуса под давлением (только в единичном и мелкосерийном производствах)

А 035 Разметочная (только в единичном и мелкосерийном производствах)

Операции механической обработки

А 040 Фрезерная, строгальная (Протяжная)

Б Вертикально-фрезерный, продольно-фрезерный, продольно-строгальный (единичное, серийное производство); барабанно- и карусельно-фрезерный, протяжный, агрегатно-фрезерный (крупносерийное и массовое производство) станки

О Фрезеровать (строгать) или протянуть плоскость основания предварительно и окончательно или с припуском под шлифование (если необходимо)

Технологическая база – необработанная плоскость, параллельная обрабатываемой поверхности

А 045 Сверлильная

Б Радиально-сверлильный, сверлильный с ЧПУ (единичное, серийное производство), многошпиндельный сверлильный или агрегатный (крупносерийное и массовое производство) станки

О Сверлить и зенкеровать (при необходимости) отверстия в плоскости основания. Развернуть два отверстия

Технологическая база – плоскость основания

А 050 Фрезерная

Б Вертикально-фрезерный, продольно-фрезерный, продольно-строгальный (единичное, серийное производство); барабанно- и карусельно-фрезерный, протяжный, агрегатно-фрезерный (крупносерийное и массовое производство) станки

О Фрезеровать (строгать) или протянуть поверхность, параллельную базовой (при их наличии)

Технологическая база – плоскость основания

А 055 Фрезерная

Б Горизонтально-фрезерный, продольно-фрезерный или горизонтально-расточной станок

О Фрезеровать поверхности, перпендикулярные базовой (торцы основных поверхностей)

Технологическая база – плоскость основания и два точных отверстия

А 060 Расточная

Б Горизонтально-расточной (единичное производство), станок с ЧПУ расточно-фрезерной группы и многооперационный (типа «обрабатываю-

щий центр») (серийное производство), агрегатный многошпиндельный (крупносерийное, массовое производство) станки

О Расточить основные отверстия предварительно и окончательно или с припуском под тонкое растачивание

Технологическая база – плоскость основания и два точных отверстия

А 065 Сверлильная

Б Радиально-сверлильный (единичное производство), сверлильный с ЧПУ, многооперационный (серийное производство), сверлильный многошпиндельный и агрегатный (крупносерийное и массовое производство) станки

О Сверлить (зенкеровать при необходимости), нарезать резьбу.

Технологическая база – плоскость основания и два точных отверстия

А 070 Плоскошлифовальная

Б Плоскошлифовальный станок

О Шлифовать (при необходимости) плоскость основания

Технологическая база – поверхность (ось) основного отверстия или обработанная поверхность, параллельная базовой (в зависимости от требуемой точности расстоянии от базовой плоскости до оси основного отверстия).

А 075 Алмазной-расточная

Б Алмазной-расточной станок

В Расточить основной отверстие (тонкое расточки)

Технологическая база – базовая плоскость и два отверстия

Для выдерживания принципа постоянства баз большинство операций (050, 055, 060, 065), за исключением операций подготовки технологических баз (040, 045) и отделочной обработки основных поверхностей (070, 075) часто концентрируют в одну операцию, выполняемую на горизонтально-расточном (единичное производство), многооперационном (серийное производство) или агрегатном (массовое производство) станках.

Особенности обработки разъемных корпусов. В маршрут обработки разъемных корпусов дополнительно к вышеприведенным операциям включают:

- обработку поверхности разъема у корпуса (фрезерная);
- обработку поверхности разъема у крышки (фрезерная);
- обработку крепежных отверстий на поверхности разъема корпуса (сверлильная);
- обработку отверстий крепления на поверхности разъема крышки (сверлильная);
- сборку корпуса промежуточная (слесарно-сборочная операция);
- обработку двух точных отверстий (сверлением и развертыванием) под цилиндрические или конические штифты в плоскости разъема составного корпуса).

1.2.5 Контроль корпусных деталей: методы контроля и средства технологического оснащения

При контроле корпусных деталей контролируют точность размеров и относительного положения плоских поверхностей и главных отверстий, точность геометрической формы и шероховатость базисуемых поверхностей детали, правильность относительного положения резьбовых и других мелких отверстий [2, 6, 10].

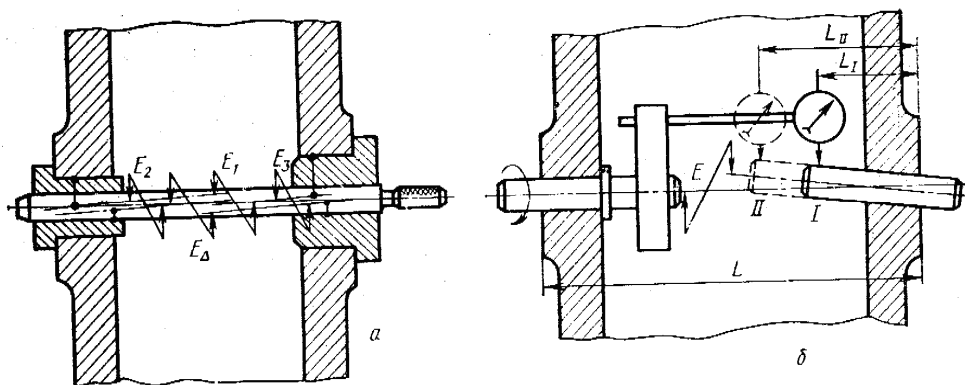
В единичном и мелкосерийном производстве контроль выполняют универсальными средствами. Точность размеров, относительных поворотов и геометрической формы плоских поверхностей контролируют с помощью линеек, угольников, уровней, концевых мер, индикаторов и различных шаблонов. Для контроля точности размеров, относительного положения и геометрической формы отверстий дополнительно используют микрометрические и индикаторные приборы – штихмасы, пассиметры, микрометры, штангенциркули, штангенрейсмусы, штангенглубиномеры, контрольные оправки и предельные калибры-пробки.

Погрешности формы отверстий в поперечном сечении (овальность, огранка) определяются измерением в разных радиальных направлениях. Погрешности формы отверстий в продольном сечении (конусообразность, бочкообразность) определяются по результатам измерений в различных поперечных сечениях.

Для контроля точности относительного положения отверстий используют контрольные оправки. Оправки являются закаленными стальными стержнями твердостью HRCэ 52...54 и точностью диаметров по IT5, IT6, шероховатостью поверхности $Ra = 0,32...0,16$ мкм.

При контроле небольших отверстий (диаметром до 50 мм) оправки устанавливают непосредственно в отверстия, а при больших диаметрах отверстий – через контрольные втулки (рисунок 1.7, а).

Соосность отверстий проверяют контрольными оправками (рисунок 1.7, а) или, если деталь и оправка жесткие, индикаторными устройствами (рисунок 1.7, б). Для проверки соосности используют также оптические, пневматические и другие методы контроля.



а – с помощью проходных оправок; б – с помощью индикатора

Рисунок 1.7 – Контроль соосности двух отверстий:

Измерение точности поворота оси отверстия относительно базовой плоскости и точности расстояния от отверстия к плоскости выполняют на контрольной плите с использованием контрольной оправки и индикатора на стойке (рисунок 1.8).

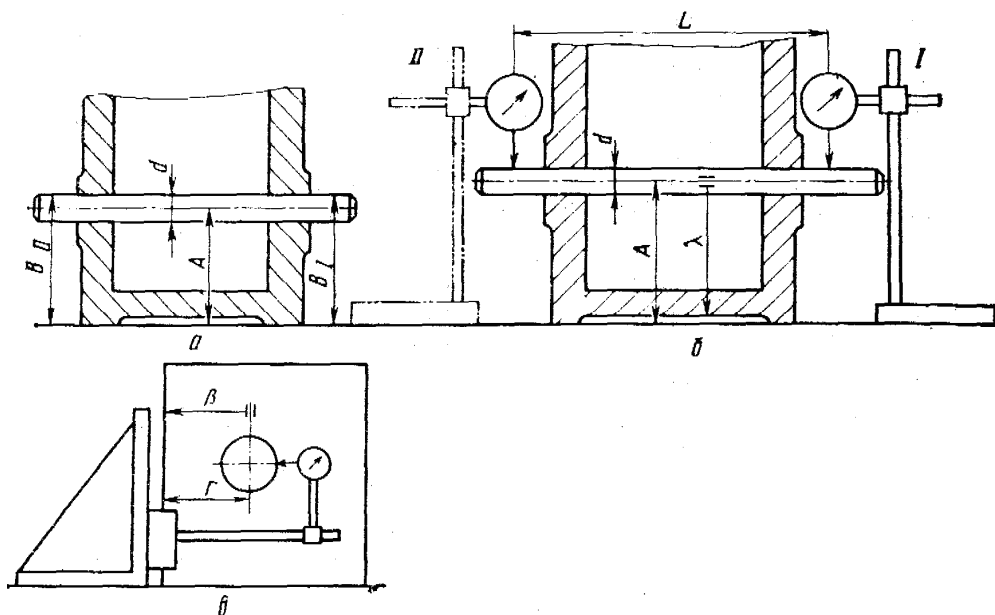


Рисунок 1.8 – Схема контроля точности поворота оси отверстия относительно базы и точности расстояния от оси отверстия к плоскости

С помощью набора концевых мер индикатор предварительно выставляют на нужный размер $B = A + d/2$. Затем последовательно в позициях I и II фиксируют отклонения U_I и U_{II} , что показывает индикатор при касании образующей оправки (рисунок 1.8, а). Отклонение от параллельности оси отверстия плоскости (рисунок 1.8, б) определяют по формуле

$$\Delta_{\lambda} = (U_I - U_{II}) / L,$$

где L – расстояние между позициями I и II.

Отклонение расстояния от оси отверстия к плоскости

$$\Delta_A = (U_I + U_{II}) / 2.$$

Расстояние (среднее) от оси отверстия к плоскости рассчитывают по формуле

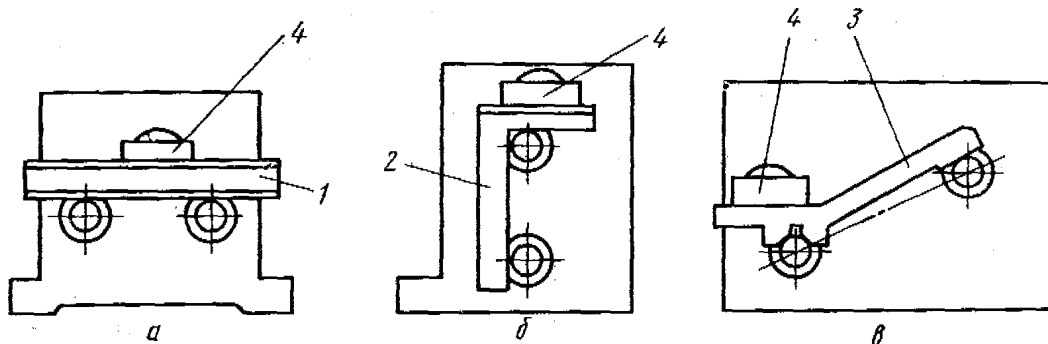
$$A_{cp} = (B_I - B_{II}) / 2 - d/2,$$

где d – диаметр контрольной оправки.

Контроль точности относительно поворота и расстояния Γ оси отверстия в базовой плоскости в горизонтальном направлении выполняют аналогично с использованием угольника (рисунок 1.8, в). Для определения расстояния от образующей контрольной оправки к базовой плоскости, кроме индикатора, можно использовать штангенрейсмус, штихмас, мерные плитки.

Схемы измерения точности положения осей отверстий в заданной плоскости с помощью уровня 4 и контрольных оправок, угольников 2 или специальных устройств 3 показаны на рисунке 1.9.

Точность межцентрового расстояния и параллельность осей отверстий контролируют по схеме, представленной на рисунке 1.10.



а – в горизонтальной; б – в вертикальной; в – в плоскости, расположенной под определенным углом

Рисунок 1.9 – Контроль положения осей отверстий в заданной плоскости

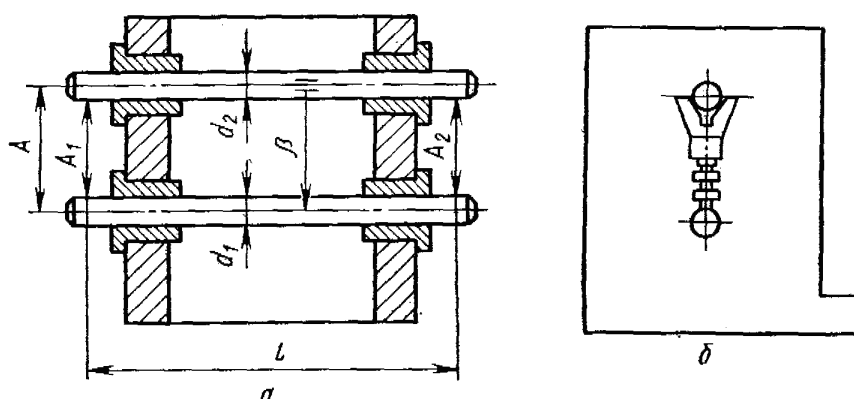


Рисунок 1.10 – Схема контроля точности межцентрового расстояния

Расстояние между образующими двух контрольных оправок можно измерить: по наружной стороне – микрометром или штангенциркулем (рисунок 1.10, а), по внутренней стороне – штихмасом (рисунок 1.10, б), индикаторным нутромером или набором концевых мер.

Межцентровое расстояние рассчитывается по формуле

$$A = 0,5[(A_1 + A_2) + (d_1 + d_2)].$$

Отклонение от параллельности одного отверстия к другому

$$\Delta_{\beta} = \frac{(A_1 - A_2)}{L}.$$

Отклонение от перпендикулярности одного отверстия к оси другого можно проверить с помощью индикатора на оправке (рисунок 1.11, а) или калибра (рисунок 1.11, б). В обоих случаях фиксируют два отклонения Δ_1 и Δ_2 на базовой длине L . Отклонение от перпендикулярности Δ_γ определяют как отношение разницы $(\Delta_1 - \Delta_2)$ к базовой длине L или

$$\Delta_\gamma = (\Delta_1 - \Delta_2) / L.$$

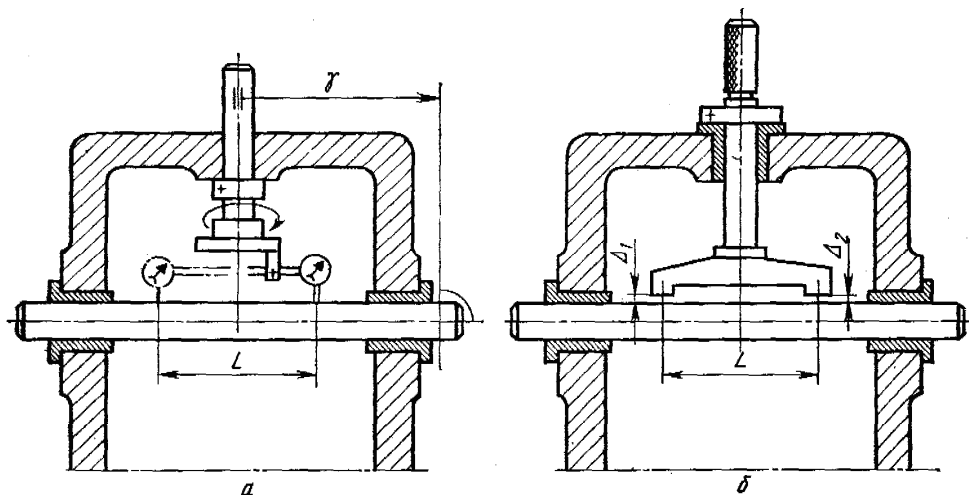


Рисунок 1.11 – Контроль перпендикулярности одного отверстия относительно другого

Отклонение от перпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия проверяют с помощью калибра (рисунок 1.12, а) или индикатора, установленного в специальной оправке (рисунок 1.12, б).

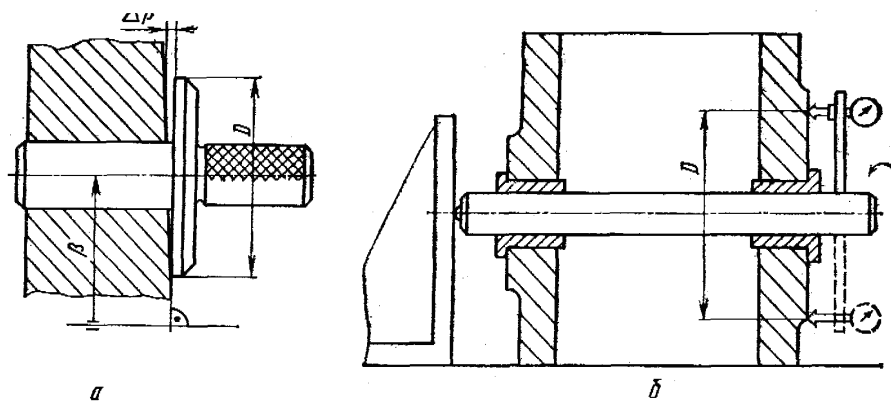


Рисунок 1.12 – Контроль перпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия

В первом случае отклонение определяют щупом, измеряя зазор в двух противоположных точках на базе D , а во втором – по показателям индикатора в положениях I и II. Отклонение от перпендикулярности торцевой плоскости к оси отверстия определяют как разницу показателей, отнесенную к базовой длине D .

2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ»

2.1 Технология изготовления ступенчатых валов

2.1.1 Служебное назначение и классификация валов. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок

Валы предназначены для передачи крутящих моментов и монтажа на них различных деталей и механизмов. Конструктивно ступенчатые валы разделяют на гладкие, фланцевые и валы-шестерни. В общем случае они являются сопряжением гладких посадочных и непосадочных, шлицевых, шпоночных, резьбовых и переходных поверхностей. Для уменьшения массы валов их часто выполняют пустотелыми [2, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Технические требования к валам. Диаметральные размеры посадочных шеек выполняются по 6-му, 7-му, реже 5-му квалитетам, других шеек по 10-му, 11-му квалитетам, допуски на длину ступени вала назначают в пределах 0,1...0,4 мм.

Допуски формы – отклонение, от круглости, цилиндричности и прямолинейности – как правило, составляют часть допуска T_j на исполняемый диаметральный размер (до 0,3 T_j).

Допуски расположения – отклонение от параллельности шпоночных канавок и шлицевых поверхностей относительно оси – не превышают 0,1 мкм на 1 мм длины, отклонение от перпендикулярности для опорных заплечиков под подшипники и привалочных фланцевых поверхностей валов выполняют с точностью $< 0,1$ мкм, соосность поверхностей в пределах 0,01...0,03 мм. Неравномерность шага шлицевых поверхностей, их смещение относительно оси должно быть не более 0,02 мм.

Допустимые биения посадочных шеек относительно базовых поверхностей не должны превышать 0,01...0,03 мм, а непосадочных 0,05...0,10 мм. Шероховатость посадочных шеек $Ra = 0,08...0,63$ мкм, непосадочных $Ra = 3,2...10$ мкм.

Ступенчатые валы изготавливают из сталей 25, 35, 40, 45, 35X, 40X, 40XH, 45XHM, 38X2ЮА, 38X2МЮА и других, подлежащих для повышения износостойкости и физико-механических свойств материала различным видам термообработки. Валы из малоуглеродистой стали 25 цементируют на глубину 0,7...1,2 мм, обеспечивая твердость после закалки и отпуска в пределах HRCэ 55...58. Среднеуглеродистые стали подлежат улучшению, нормализации или поверхностной закалке. Валы из высоколегированных сталей 38X2ЮА, 38X2МЮА азотируют на глубину 0,3...0,4 мм, обеспечивая твердость HV1000.

В единичном и серийном производстве заготовками для ступенчатых валов при небольших перепадах диаметров ступеней есть прокат. При значительных перепадах диаметров ступеней заготовки изготавливают ковкой на молотах или прессах.

В крупносерийном и массовом производствах заготовки ступенчатых валов изготавливают штамповкой из проката, высадкой на горизонтально-ковочных машинах, обжатием на радиально-ковочных машинах, поперечно-клиновой прокаткой. После пластического деформирования заготовка подлежит термической обработке для снятия остаточных напряжений и обеспечения необходимой структуры металла.

2.1.2 Способы обработки наружных поверхностей. Способы обработки шлицев и шпоночных канавок. Способы нарезания резьбы

В зависимости от типа производства обработку торцов и центровых отверстий выполняют на различном оборудовании: центровальных, центrovально-подрезных, фрезерно-центровальных, фрезерных, сверлильных, токарных, горизонтально-расточных (для крупногабаритных валов) станках. К центровым отверстиям выдвигаются требования к соосности, постоянству глубины, диаметру и конусности [6, 7].

В единичном производстве указанные переходы выполняют на универсальных токарных станках, а для крупногабаритных валов – на горизонтально-расточных станках. В серийном производстве обработку выполняют на фрезерно-центровальных станках с установкой детали по наружному диаметру в призмах и осевом направлении по упору (рисунок 2.1). Если деталь обрабатывается на токарном станке с ЧПУ, то технологические базы целесообразно обрабатывать на центровально-подрезных станках. В этом случае не нужно дополнительной подрезки торца на токарном станке (после фрезерования торцов подрезка на токарном станке обязательна).

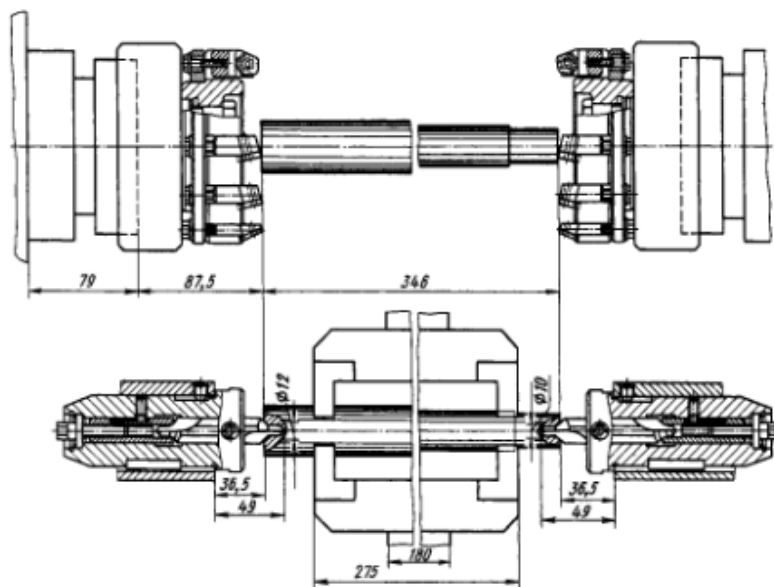


Рисунок 2.1 – Обработка на фрезерно-центровальном станке

После термической обработки валов требования к точности центровых отверстий повышаются. Шлифование центровых отверстий небольших валов на специальных станках (3922, 3922Р, МВ-119 и др.) Обеспечивает отклонение от круглости 1-3 мкм, от прямолинейности 4-6 мкм, параметр шероховатости поверхности до $Ra = 0,63$ мкм.

Обработка наружных цилиндрических поверхностей точением выполняется в зависимости от типа производства на разном оборудовании. В мелко- и среднесерийном производстве используют универсальные токарные станки, станки с ЧПУ, токарные гидрокопировальные полуавтоматы, токарные станки, оборудованные гидрокопировальными суппортами.

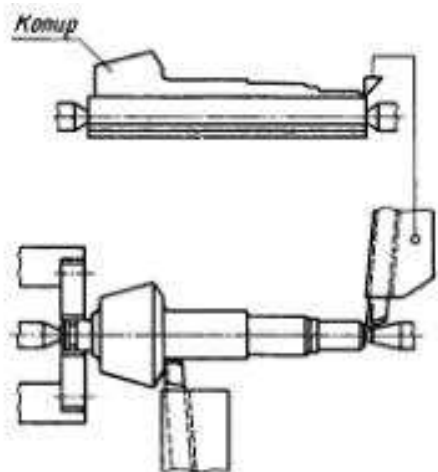


Рисунок 2.2 – Обработка на токарном гидрокопировальном полуавтомате

В крупносерийном и массовом производстве используют токарные одно- и многошпиндельные вертикальные полуавтоматы и автоматы, горизонтальные многогорезцовые станки, гидрокопировальные полуавтоматы (рисунок 2.2).

Шлифование валов выполняют на круглошлифовальных и бесцентровошлифовальных станках, обеспечивая 6-й квалитет точности. Шейки валов в этом случае шлифуют за две операции (или два перехода): предварительное и окончательное шлифование. В качестве технологических баз используют центровые отверстия и торец заготовки.

Наиболее распространенными являются два метода шлифования: с продольной подачей (рисунок 2.3, а) для валов значительной длины и врезное (рисунок 2.3, б) для обработки коротких шеек.

Бесцентровое шлифование (рис. 2.3, в) используют для обработки небольших валов, при этом обеспечивается точность по 6...8-му квалитетам. Гладкие валы шлифуют с продольной подачей, а ступенчатые – с продольной подачей до упора.

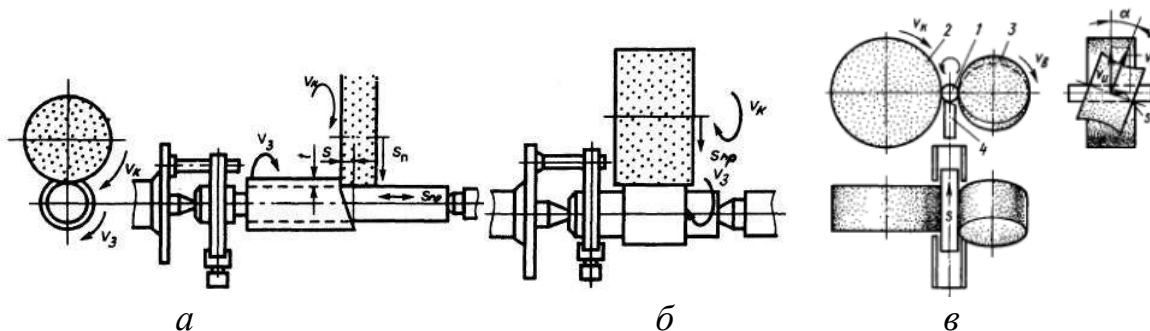


Рисунок 2.3 – Шлифование валов

Для обеспечения малых параметров шероховатости используют суперфиниширование (рисунок 2.4). Абразивные бруски получают обратное поступательное движение со скоростью V_s , а заготовка – вращение со скоростью V_3 . Соотношение скоростей позволяет получить перекрестную сетку траекторией абразивных зерен.

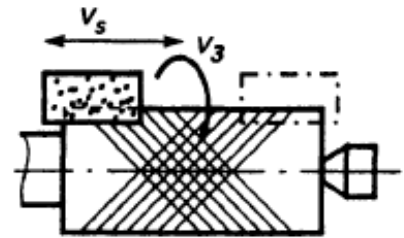


Рисунок 2.4 – Схема суперфиниширования

В качестве отделочных и упрочняющих методов обработки валов используют алмазное выглаживание и обкатку роликами (для незакаленных валов).

Обработка шлицев и шпоночных пазов на валах. По конструкции шлицы могут быть прямобочными и эвольвентными. Шлицевое соединение с прямобочными шлицами можно выполнить с центрированием втулки по внутреннему и наружному диаметрам вала, а соединение с эвольвентными шлицами центрируют по профилю.

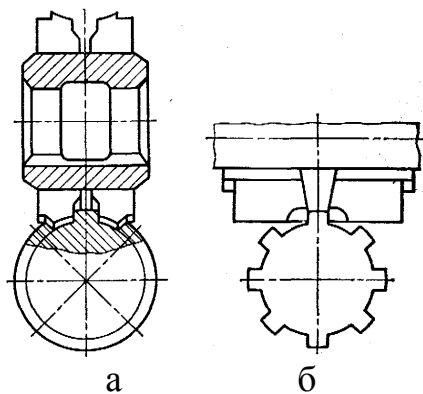
Шлицы нарезают фрезерованием, строганием, протягиванием и холодным накатыванием (в основном эвольвентные шлицы). Технологический процесс обработки шлицев зависит от метода центрирования шлицевого соединения и термической обработки. В мелкосерийном и серийном производствах шлицы нарезают на шлицефрезерных или зубофрезерных станках червячной фрезой методом обкатки. В зависимости от точности шлицы нарезают за один или два рабочих хода.

У валов, подвергаемых закалке, рекомендуется фрезеровать шлицы после предварительного шлифования, а у валов, не подвергаемых закалке – после шлифования наружной поверхности.

Шлицы валов, подвергаемых закалке и центрируемых по наружной поверхности, обрабатывают в такой последовательности: фрезерование шлицев с припуском под шлифование боковых поверхностей; чистовое шлифование боковых поверхностей шлицев после термической обработки и чистового шлифования.

Шлицы валов, центрируемых по поверхности внутреннего диаметра, обрабатывают в такой последовательности: фрезерование шлицев с припуском под шлифование; фрезерование канавок для выхода круга при шлифовании центрирующей поверхности по внутреннему диаметру (в случае, если канавки не обработаны на первой операции фрезой вместе со шлицами); чистовое шлифование боковых поверхностей и центрирующей поверхности по внутреннему диаметру после термической обработки.

Нарезание прямобочных шлицев выполняется предварительным фрезерованием фасонными дисковыми фрезами и чистовым фрезерованием боковых поверхностей шлицев торцевыми фрезами, оснащенных пластинами из твердого сплава (рисунок 2.5). Обработку выполняют на горизонтальных продольно-фрезерных станках с использованием делительных приспособлений. Метод в 3...4 раза производительнее, чем обработка на шлицефрезерных станках.



а – предварительная обработка; б – чистовая обработка боковых поверхностей шлицев
 Рисунок 2.5 – Схема фрезерования шлицев фасонными фрезами

Контурное шлицестрогание на валах выполняют набором фасонных резцов, собранных в головке, которое может использоваться в крупносерийном и массовом производстве. Количество резцов и профиль соответствует количеству шлицев и профилю впадин между шлицами вала (рисунок 2.6). Количество двойных ходов головки определяется глубиной шлицевой канавки и принятой глубиной резания за один рабочий ход. За каждый двойной ход резцы сходятся радиально на заданную величину подачи. Данным методом можно обрабатывать как сквозные, так и несквозные шлицы. В последнем случае предусматривают канавку шириной 6...8 мм для выхода резцов и ускоренного отвода резцов от заготовки.

Шлицепротягивание выполняют двумя блочными протяжками (рисунок 2.7) одновременно двух диаметрально противоположных впадин на валу с последующим поворотом вала на определенный угол после каждого хода протяжки. Блок протяжки имеет набор резцов-зубцов, которые могут независимо перемещаться в радиальном направлении.

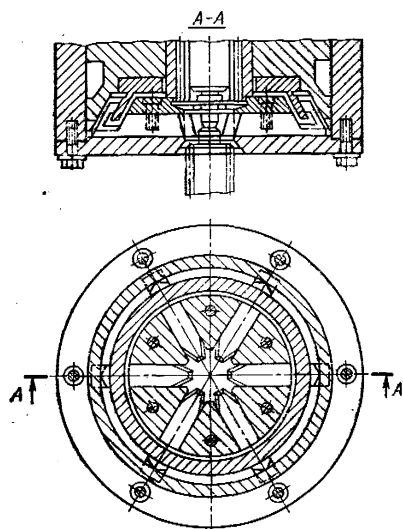


Рисунок 2.6 – Резцовая головка шлицестрогального станка

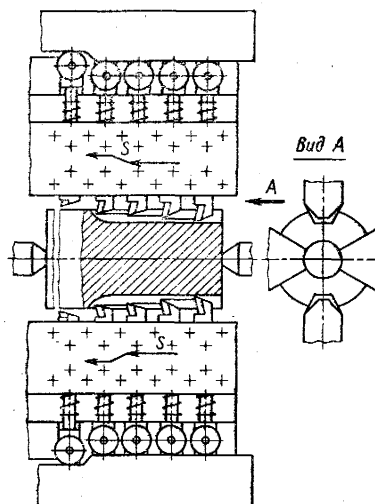
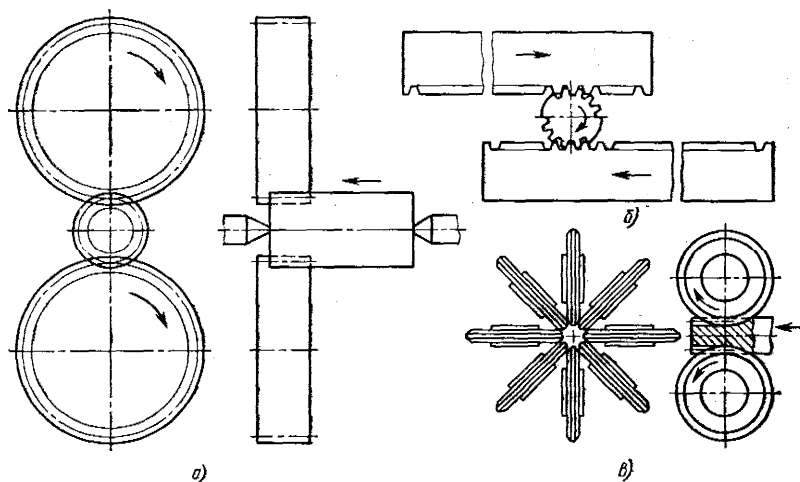


Рисунок 2.7 – Схема протягивания шлицев на валах

Этот метод позволяет обрабатывать сквозные и несквозные шлицы. По производительности шлицестрогание и шлицепротягивание производительнее шлицефрезерования примерно в 5...8 раз (в зависимости от размеров шлицев).

Накатывание шлицев выполняется в холодном состоянии заготовки роликами, рейками и многороликовыми профильными головками (рисунок 2.8). В ряде случаев холодное накатывание позволяет не выполнять термическую обработку валов и дальнейшую механическую обработку. Холодным накатыванием в основном получают эвольвентные шлицы, так как для прямобочных шлицев значительно усложняется профиль рабочих поверхностей накатных роликов, что требует специального оборудования для их изготовления.



а – круглыми роликами; б – рейками; в – многороликовой головкой

Рисунок 2.8 – Схемы накатывания шлицев

Шлицы эвольвентного профиля с модулем до 2,5 мм получают холодным накатыванием двумя или тремя роликами. Диаметр заготовки при накатывании меньше наружного диаметра детали и точность диаметра под накатки значительно выше диаметра под шлицефрезерование.

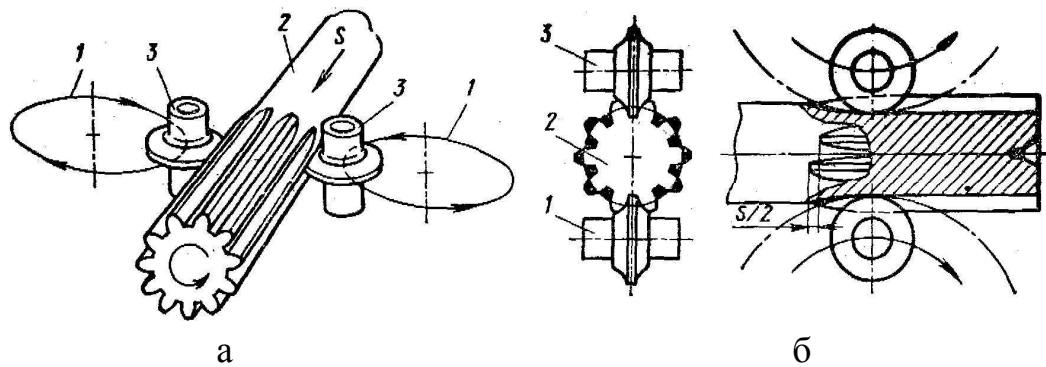
Ролики изготавливают из высоколегированных сталей. Одним и тем же роликом определенного модуля можно обрабатывать валы с разным количеством шлицев. Накатыванию подлежат валы с твердостью не более HB220. Шероховатость поверхности $Ra = 0,63...0,32$ мкм.

Холодное накатывание шлицев можно выполнять и рейками. Накатка шлицев рейками за один рабочий ход на всю длину производительнее, чем накатывание роликами, но из-за больших сил, возникающих при накатывании, оно не рекомендуется для накатки шлицев длиной более 80...100 мм.

Формирование профиля эвольвентных шлицев на валах *планетарным методом* (рисунок 2.9, а) выполняется двумя роликовыми головками, имеющими встречное вращение.

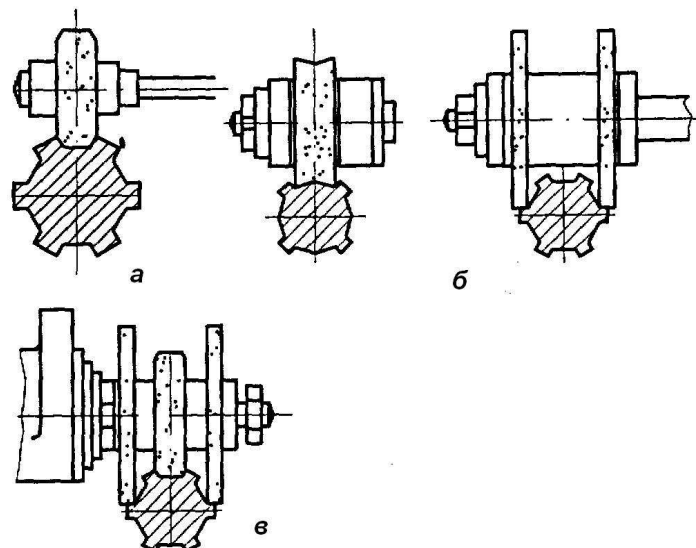
Головки оснащены накатным инструментом, который располагают встречно и приводят в действие двумя двигателями. Профильные ролики 3 одновременно и синхронно вдавливаются в заготовку 2, которая вращается вокруг своей оси. При этом частоты вращения накатных головок и заготовки согласовывают друг с другом с учетом количества изготавливаемых

зубьев (рисунок 2.9, б). Одновременно заготовка получает непрерывную подачу в осевом направлении. Накатной ролик изготавливают из высоколегированной быстрорежущей стали с твердостью рабочей части HRCэ 63...65. Все термически обработанные шлицевые валы, а также валы, которые центрируются по внутреннему диаметру, после нарезания шлицев подвергают механической обработке.



а – схема движения роликов и заготовки; б – схема формирования шлицев при накатке; 1 – траектория движения роликов; 2 – заготовка; 3 – ролики
 Рисунок 2.9 – Схема накатывания шлицев планетарным методом

Поверхности, образующие профиль шлицев на валах, которые центрируются по внутреннему диаметру, шлифуют профильным кругом за один установ; за два установка шлифуют сначала боковые поверхности шлицев, а затем поверхность по внутреннему центрирующему диаметру (рисунок 2.10). Точность и производительность чем при шлифовании шлицев одним профильным кругом.



а – фасонным кругом; б – в две операции одним и двумя кругами;
в – тремя кругами

Рисунок 2.10 – Схема шлифования шлицев на валах:

У термически обработанных шлицевых валах с центрированием по наружному диаметру шлифуют эту поверхность и боковые поверхности шлицевых шпонок. Производительность этих операций выше, чем при шлифовании профильным кругом, поэтому обработка шлицевых валов с центрированием по наружному диаметру проще и экономичнее обработки валов с центрированием по внутреннему диаметру.

Шпоночные пазы под призматические шпонки обрабатывают концевыми или дисковыми фрезами. Их обрабатывают на обычных горизонтально или вертикально-фрезерных, или на специальных (шпоночно-фрезерных) станках, работающих маятниковым методом шпоночными фрезами. Этим методом получают шпоночные канавки высокой точности (рисунок 2.11).

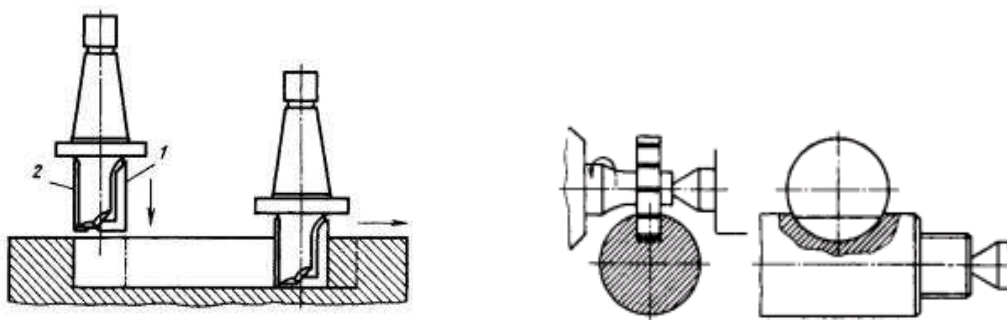


Рисунок 2.11 – Обработка шпоночных пазов сверлопазовой фрезой Walter и шпоночного паза под сегментную шпонку дисковой фрезой

Наиболее производительным является метод фрезерования сквозной шпоночной канавки с помощью дисковой фрезы на проход. Шпоночные канавки под сегментные шпонки обрабатывают также дисковыми фрезами.

Нарезание резьбы на валах. Номинальные размеры наружных и внутренних остроугольных крепежных резьб определены в ГОСТ 9150-81 и ГОСТ 24705-81. Внутреннюю резьбу на валах обрабатывают, как правило, машинными метчиками на резьбонарезных, сверлильных, револьверных, а также агрегатных станках – полуавтоматах и автоматах в зависимости от типа производства.

Наружные остроугольные резьбы на валах в зависимости от технических требований, типа производства и имеющегося оборудования нарезают плашками, резьбонарезными головками, резьбовыми резцами, гребенками и групповыми резьбовыми фрезами (гребенчатыми фрезами). Круглыми плашками нарезают резьбы невысокой степени точности (8g). Плашками с доведенными режущими кромками можно калибровать резьбы более высокой степени точности (6g, 4h).

Наиболее производительными по сравнению с нарезанием круглыми плашками является нарезание резьбы с помощью резьбонарезных головок. Обеспечивается точность резьбы 6g, 4h (если нитки плашки шлифованные); допускается регулирование диаметра нарезаемой резьбы в опреде-

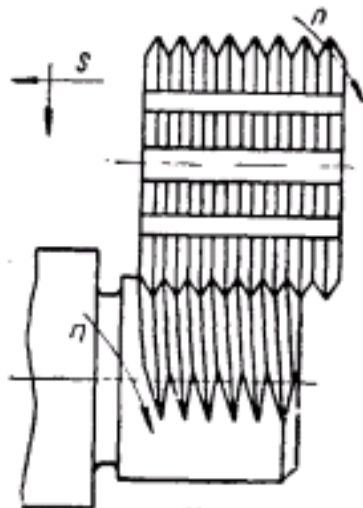


Рисунок 2.12 – Обработка
резьбы гребенчатой
фрезой

ленных пределах путем перемещения плоских или круглых гребенчатых плашек в резьбонарезной головке.

Для нарезания коротких остроугольных резьб на валах используют гребенчатые групповые фрезы. Обеспечивается точность резьбы не выше 8g, 6g. Главным недостатком метода является прерывистое резание, при котором повышается шероховатость поверхности. Обработку групповыми гребенчатыми фрезами выполняют на специальных резьбофрезерных станках (рисунок 2.12).

2.1.3 Технологический процесс изготовления ступенчатых валов

А 005 Заготовительная

Прокат (резка на прессе или на фрезерно-отрезном станке), штамповка или поковка

А 010 Слесарная (для проката)

Б Пресс

О Править прокат

А 015 Токарная (горизонтально-расточная, фрезерно-центровальная)

Б Токарно-винторезный (горизонтально-расточной, фрезерно-центровальный) станок

О Точить (подрезать) (фрезеровать) торцы и сверлить центровые отверстия

Технологическая база – наружные поверхности, торец

Для нежестких валов выполняют обработку шеек под люнеты (отдельная токарная операция)

А 020 Токарная

Б Токарно-винторезный (единичное производство), токарный гидроконтрольный, токарно-револьверный, токарный с ЧПУ (серийное производство), многошпиндельный многорезцовый полуавтомат (крупносерийное и массовое производство)

О Точить наружные поверхности с переустановкой предварительно (IT12, Ra = 6,3 мкм)

Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец

А 025 Термическая (нормализация)

Выполняется, если необходимо по техническим условиям

А 030 Токарная

Б См. опер. 020

О Точить наружные поверхности с переустановкой окончательно (IT10, IT11, Ra = 3,2 мкм)

Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец
А 035, 040 Фрезерная (шпоночно-фрезерная) и Шлицефрезерная (зубофрезерная)

Б Вертикально, горизонтально или шпоночный-фрезерный станок (для 035) и Шлицефрезерный или зубофрезерный (для 040)

О Фрезеровать шпоночные пазы (035) или Фрезеровать шлицы (040)

Технологическая база – наружные цилиндрические поверхности, торец (035); поверхности центровых отверстий (040)

Если обрабатывается два шпоночных паза, то необходимо перед операцией выполнить разметочную операцию.

А 045 Токарно-винторезная или Резьбофрезерная

Б Токарно-винторезный станок (единичное и серийное производство), резьбофрезерный (крупносерийное и массовое производство) станок

О Нарезать (фрезеровать) резьбу

Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец

Если закалки нет, то операцию выполняют после круглошлифовальной операции

А 050 Термическая (закалка)

А 055 Круглошлифовальная (Бесцентрово-шлифовальная)

Б Круглошлифовальный (Бесцентрово-шлифовальный) станок

О Шлифовать шейки окончательно (IT7, IT6, Ra = 2,5, Ra = 1,6 мкм)

(Если необходимо, то шлифуется внешняя поверхность шлицев)

Технологическая база – поверхности центровых отверстий или внешняя поверхность вала (для бесцентрово-шлифовальной операции)

А 060 Шлицешлифовальная

Б Шлицешлифовальный полуавтомат

О Шлифовать боковые поверхности шлицев и внутренних поверхностей по диаметру (при центрировании по поверхности внутреннего диаметра) или только боковых поверхностей шлицев (при центрировании по наружной поверхности)

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

Операция выполняется, если необходимо по техническим условиям.

А 065 Моечная

А 070 Контрольная

А 075 Нанесение антикоррозийного покрытия (если необходимо)

Контроль валов. Диаметральные размеры, длины ступеней, размеры резьб, шлицев, шпоночных пазов проверяют или с помощью универсальных измерительных устройств или предельными скобами, резьбовыми и шлицевыми кольцами.

Для проверки отклонения от соосности шеек ступенчатый вал устанавливают базовыми шейками на призмы контрольного приспособления и щупом индикатора касаются контролируемой поверхности. Вал проворачивают вокруг оси и по разнице показаний индикатора определяют биение шеек вала.

Отклонение от параллельности шлицев или шпоночного паза оси вала определяют по разнице показаний индикатора в двух крайних положениях, установив вал на призмах или в центрах.

Шероховатость поверхности определяют профилометром или сравнивая с эталонами.

2.2 Технология изготовления шпинделей

2.2.1 *Служебное назначение, технические условия и нормы точности шпинделей. Материалы и способы изготовления шпинделей*

Основное служебное назначение шпинделя станка – предоставление обрабатываемой заготовке или режущему инструменту вращательного движения с определенными угловой скоростью и крутящим моментом. В качестве опор шпинделей станков используют подшипники качения и подшипники скольжения. Шпиндель, несущий на себе обрабатываемую заготовку или режущий инструмент, многими своими размерами входит в размерные цепи системы станок-приспособление-инструмент-заготовка, непосредственно влияя на точность изготавливаемой детали (рисунок 2.13) [6].

Для обеспечения стабильности положения оси вращения шпинделя необходимо в первую очередь обеспечить равенство радиусов в каждом из сечений его опорных шеек, правильность геометрической формы шеек, их относительного положения, соосность и параметр шероховатости поверхности. Для сохранения неизменности положения шпинделя в осевом направлении во время работы станка необходимо обеспечить перпендикулярность основных опорных базирующих поверхностей относительно оси вращения шпинделя и соосность с последней резьбы установочных прижимных гаек.

Для обеспечения точности установки детали или режущего инструмента относительно оси вращения шпинделя устанавливаются требования к точности исполнительных поверхностей – конических или цилиндрических поверхностей центрального отверстия шпинделя или центрирующих конусов или цилиндрических поясков с опорным фланцем для установки патронов.

Устанавливаются соответственно служебного назначения шпинделя технические требования к нему – точность геометрической формы и размеров посадочных поверхностей, а также допуск соосности исполнительных поверхностей шпинделя с опорными шейками.

По точности изготовления шпинделя станков делятся на пять групп – Н, П, В, А, С.

Для шпинделей станков нормальной точности (Н) в переднюю опору устанавливают подшипник 4-го класса точности, а в заднюю опору – подшипник 5-го класса точности. Для станков классов В и А используют подшипники 2-го класса точности. В соответствии с этим устанавливают требования к геометрической точности опорных шеек.

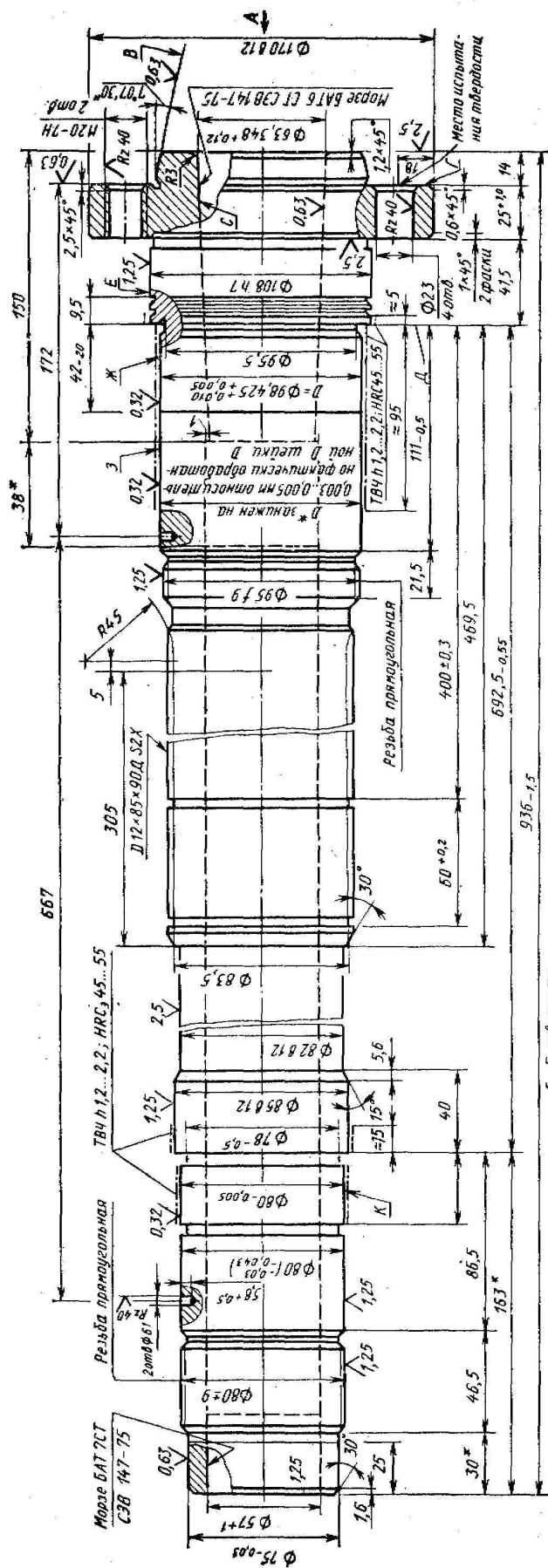
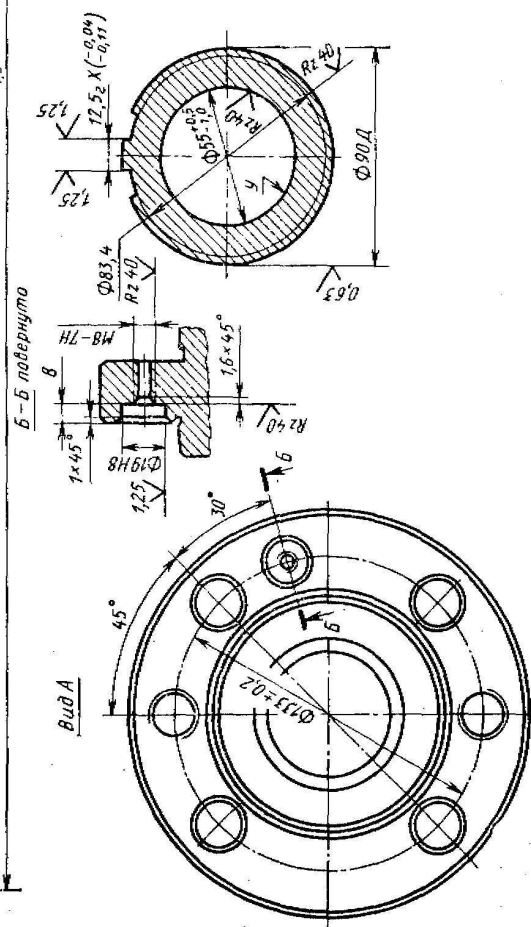


Рисунок 2.13 – Шпиндель станка 16K20

Отклонение от цилиндричности поверхностей Ж, З и К не более 0,003 ... 0,002 мм. Радиальное биение конуса С относительно общей оси поверхностей Ж и К: у торца шпинделя не более 0,003 ... 0,005 мм; на расстоянии 300 мм от торца шпинделя - не более 0,006 мм. Радиальное биение конуса В относительно общей оси поверхностей Ж и К не более 0,005 ... 0,003 мм. Торцевое биение поверхности Г относительно оси поверхностей Ж и К не более 0,004 ... 0,007 мм. Торцевое биение поверхности Д относительно оси поверхности Ж не более 0,003 мм



Допуски овальности и конусообразности для станков нормальной точности не должны превышать 50 % допуска диаметральных размеров шеек, для станков повышенной точности – 25 % допуска, для прецизионной – 5...10 % допуска диаметральных размеров шеек.

Торцевое биение опорных фланцев относительно оси вращения шпинделя в зависимости от их диаметра для станков нормальной точности не превышает 0,006...0,008 мм, для прецизионных станков – 0,002...0,003 мм и менее. Для шпинделей, имеющих резьбу для установочных опорных колец, допустимые отклонения от соосности резьбы с опорными шейками подшипников составляют 0,025 мм (для станков нормальной точности).

В зависимости от класса точности станка параметры шероховатости составляют: для поверхностей опорных шеек $Ra = 0,32...0,04$ мкм; для исполнительных поверхностей (поверхности конусного отверстия и посадочные поверхности под патрон) $Ra = 0,63...0,04$ мкм.

Для изготовления шпинделей токарных станков, работающих в нормальных условиях, используют высокопрочный (магниевого) чугуна. Для изготовления шпинделей некоторых тяжелых станков используют отливки из серого чугуна СЧ15, СЧ21 и модифицированного чугуна (значительно реже стальные отливки).

В зависимости от серийности в качестве заготовок для шпинделей используют поковки, реже стальные отливки, прокат и трубы. Заготовки чугунных полых шпинделей получают центробежным литьем в металлические формы. В единичном и мелкосерийном производствах изготавливают заготовки для шпинделей с проката или поволоков, полученных свободной ковкой.

В крупносерийном производстве заготовки стальных шпинделей изготавливают горячей высадкой на горизонтально-кузнечных машинах или ковкой на ротационно-кузнечных машинах.

2.2.2 Технологический процесс обработки шпинделя. Балансировка и контроль шпинделя

Перед механической обработкой заготовки, изготовленные ковкой или штамповкой, подвергают термической обработке (нормализации, улучшению) [6].

- А 005 Фрезерно-центровальная
- Б Фрезерно-центровальный полуавтомат
- О Фрезеровать торцы и центровать с двух сторон
- Технологическая база – наружные поверхности наиболее отдаленных шеек, торец фланца
- А 010 Токарная
- Б Токарный гидроконтрольный станок, токарный с ЧПУ

О Точить наружные поверхности до фланца предварительно, подрезать торец фланца предварительно

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

А 015 Токарная

Б Токарный гидрокопировальный станок, токарный с ЧПУ

О Точить наружные поверхности до фланца с припуском под термическую обработку; проточить канавки, фаски, подрезать торец

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

А 020 Токарная

Б Токарно-винторезный станок с гидравлическим суппортом, токарный с ЧПУ

О Точить фланец с припуском, торец фланца, торец шпинделя (со стороны фланца), канавку, фаски

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

А 025 Глубокосверлильная

Б Глубокосверлильный станок

О Сверлить сквозное отверстие с переустановкой

Технологическая база – поверхности наиболее отдаленных шеек

А 030 Термическая (стабилизирующий отпуск в вертикальном положении; $t = 350^{\circ}\text{C}$, выдержка 3 часа, охлаждение на воздухе)

А 035 Сверлильная

Б Вертикально-сверлильный станок

О Зенковать отверстие под конус Морзе 6 (со стороны фланца)

Технологическая база – поверхности наиболее отдаленных шеек

А 040 Токарная

Б Токарный станок

О Подрезать торец (со стороны фланца), расточить конус Морзе 6 под шлифование, расточить технологический конус Морзе 6 с обратной стороны с припуском 0,5 мм на диаметр; подрезать торец, точить фаски

Технологическая база – поверхности шеек

А 045 Агрегатная или горизонтально-расточная

Б Агрегатно-сверлильный или горизонтально-расточной станок

О Сверлить 4 отверстия, сверлить и нарезать резьбу, сверлить и развернуть отверстия (во фланце)

Технологическая база – поверхности шеек

А 050 Токарная

Б Токарно-копировальный полуавтомат, токарный с ЧПУ

О Точить все шейки к фланцу с припуском $0,7^{+0,1}$ на диаметр

Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя

А 055 Шлифрезерная

Б Шлифрезерный станок

О Фрезеровать шлицы с припуском 0,25 мм на сторону по ширине шлица

Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя

А 060 Слесарная
 О Зачистить заусенцы, промыть
 А 065 Термическая (СВЧ h1,2...2,2 HRC 45...55)
 (Закалить шейки шпинделя, шлицы, наружный и внутренний конус, торец фланца)
 А 070 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать конус (со стороны фланца) на пробках предварительно с припуском 0,1 мм на диаметр, торец фланца с припуском 0,1 мм; биение торца и конуса относительно оси 0,01 мм
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя
 А 075 Токарная
 Б Токарный, токарный с ЧПУ
 О Точить поверхности шеек (по 9 ÷ 12-м квалитетам) окончательно, другие шейки до фланца – с припуском 0,3...0,02 мм, подрезать торец, точить канавки, фаски; нарезать прямоугольную резьбу
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя
 А 080 Внутришлифовальная
 Б Внутришлифовальный станок
 О Шлифовать технологический конус Морзе 6 окончательно
 Технологическая база – поверхности опорных шеек
 А 085 Внутришлифовальная
 Б Внутришлифовальный станок
 О Шлифовать технологический конус Морзе 6 с головной части (фланца) предварительно по калибру, торец шпинделя
 Технологическая база – поверхности опорных шеек
 А 090 Токарная
 Б Токарный, токарный с ЧПУ
 О Точить фаску на конусе $7^{\circ}07'30''$; править канавки, зачистить острые кромки по ниткам резьб, зачистить верх резьбы
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя
 А 100 Шлицешлифовальная
 Б Шлицешлифовальный станок
 О Шлифовать шлицы
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя
 А 105 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать поверхности шеек окончательно
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя
 А 110 Круглошлифовальная

Б Круглошлифовальный станок
О Шлифовать конус $7^{\circ}07'30''$ и торец фланца окончательно
Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя

А 115 Круглошлифовальная
Б Круглошлифовальный станок
О Шлифовать торец шеек шпинделя, внутренний торец фланца
Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя

А 120 Круглошлифовальная
Б Круглошлифовальный станок
О Шлифовать наружную поверхность шлицев (D) окончательно (блуждание не более 0,005 мм).

Технологическая база – поверхности центровых отверстий пробок, установленных в конусные отверстия шпинделя

А 125 Внутршлифовальная
Б Внутршлифовальный станок
О Шлифовать конус Морзе 6 предварительно и окончательно; конусообразность проверить по краске, слой не более 0,0015 мм; длина нестертых участков окрашенной поверхности не более 10 мм

Технологическая база – опорные шейки шпинделя

А 130 Слесарная

О Калибровать, проверить резьбы, притереть

А 135 Контрольная

Обработка шпинделей прецизионных станков требует использования станков повышенной точности на окончательных операциях, дополнительными термическими операциями для снятия внутренних напряжений. Если шероховатость опорных шеек шпинделя $Ra \leq 0,16$ мкм, то можно использовать тонкое шлифование, доводку (притирку), суперфиниширование. Как правило, операции окончательного шлифования или суперфиниширования надо выполнять в термостатных помещениях.

Балансировка шпинделя. Все шпиндели станков проходят *балансировку* в собранном виде. Погрешности изготовления и монтажа шпинделя, а также неодинакова плотность металла, из которого он изготовлен, вызывают неуравновешенность шпинделя, при эксплуатации станка может вызвать вибрации.

Они снижают стойкость режущего инструмента, качество обработанной поверхности, вызывают износ опор шпинделя и в ряде случаев возникает необходимость снижать режимы резания, уменьшает производительность, или заставляет остановить работу.

Неуравновешенность может быть статической, когда не совпадает центр тяжести детали с осью вращения (она вызывает лишь центробежную силу), и динамической, когда действие неуравновешенных масс вызывает появление пары сил и центробежных моментов инерции, не равны нулю. Для устранения неуравновешенности детали проходят балансировку. В со-

ответствии с двумя видами неуравновешенности существуют два вида балансировки – статическую и динамическую.

Статическая балансировка используют для деталей, в которых соотношение L/D невелико (маховики, диски, зубчатые колеса). Балансировка выполняют на оправке с надетой на нее деталью, свободно перемещается на двух параллельных ножах или роликах под действием статического момента. Таким образом, определяется радиальное направление приложения уравнивающего груза.

В шпинделя станков $L/D \gg 1$. Из-за того, что на шпиндель монтируют несколько деталей (зубчатые колеса, кольца-гайки, подшипники, втулки, фланцы), то для него характерны оба вида неуравновешенности.

Динамическая балансировка выполняется на специальных балансировочных станках. Неуравновешенность шпинделя определяется изменением амплитуды и фазы колебаний опор. Неуравновешенность устраняют высверливанием металла в заданных местах детали или балансируемого узла с помощью двух специальных сверлильных головок, которые имеет балансировочный станок.

Контроль шпинделей. Точность изготовления шпинделя: сначала проверяют правильность формы поверхностей, затем их геометрические размеры и их положение [6].

Измерительными базами при проверке шпинделя являются поверхности его опорных шеек. Шпиндель устанавливают опорными шейками с упором в один торец на призмы контрольной плиты или специальных контрольных устройств. Одна из призм – регулируемая по высоте. Правильность геометрической формы определяют в нескольких сечениях, перпендикулярных оси шпинделя: овальность и конусообразность – с помощью скоб с отсчетным устройством (типа СР по ГОСТ 11098-75), а круглость – с помощью кругломера (по ГОСТ 17353-80).

Отклонение образующей цилиндрической поверхности от прямолинейности проверяют индикатором. Прямолинейность образующей конуса проверяют с помощью устройства БВ-7320.

Диаметральные размеры в зависимости от степени точности и их значения проверяют скобами с отсчетным устройством СР, а также микрометром (цена деления 0,01 мм), пассаметром (цена деления 0,002 мм) или микротастом (цена деления 0,001 мм). Затем контролируют правильность положения поверхностей относительно оси вращения шпинделя. Отклонение от соосности контролируемой поверхности с осью вращения шпинделя проверяют индикаторами, вращая шпиндель вокруг оси. Такую проверку выполняют в двух крайних сечениях контролируемой поверхности.

Если шпиндель имеет коническое центральное отверстие, то биение конусной поверхности относительно оси вращения шпинделя проверяется с помощью цилиндрической оправки, которую устанавливают в отверстие точным конусным хвостовиком.

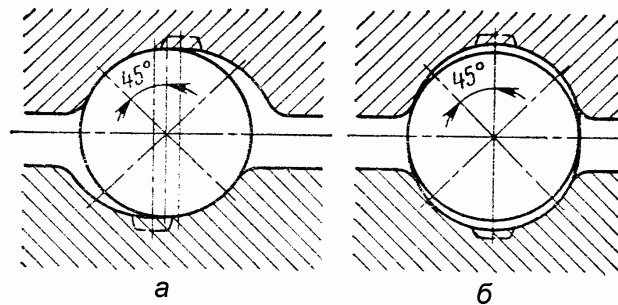
2.3 Технология изготовления ходовых винтов

2.3.1 Служебное назначение, технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок

Ходовые винты служат для преобразования вращательного движения в поступательное прямолинейное перемещение с помощью соединенной с ним гайки различных деталей и узлов станка (суппортов, кареток, фартуков и др.) [2, 6].

Ходовые винты в зависимости от степени точности перемещения, которую они обеспечивают, и группы точности станков разделяют на 5 классов: 0, 1, 2, 3 и 4. В металлорежущих станках в зависимости от их точности в основном используют ходовые винты 0÷2-го классов точности. Профиль резьбы ходовых винтов может быть трапециевидным, прямоугольным и треугольным. Ходовые винты с трапециевидной резьбой имеют наибольшее применение из-за их большой прочности по сравнению с прямоугольной резьбой и возможностью с помощью разрезной гайки регулировать осевые зазоры. Кроме того, их нарезания и шлифования значительно проще, чем нарезания и шлифования прямоугольной резьбы.

На станках с ЧПУ используют винтовые пары качения, состоящие из ходового винта и гайки, соотнесение между которыми создается с помощью шариков. Такая винтовая пара не является самотормозящей и может использоваться как для преобразования вращательного движения в поступательное, так и наоборот. Профиль винтовых канавок и гаек может быть полукруглый и арочный (рисунок 2.14).



а – полукруглый; б – арочный

Рисунок 2.14 – Профиль винтовых канавок

В первом случае (рисунок 2.14, а) профиль резьбы подобный профилю беговой дорожки шарикоподшипников и при работе в паре с гайкой создает двухточечный контакт шариков. Недостаток такого профиля – неопределенность угла контакта. Арочный профиль (рисунок 2.14, б) создает четырехточечный контакт шариков, что обеспечивает постоянство угла контакта.

Технические требования к ходовым винтам пар качения в основном такие же, что и к ходовым винтам скольжения.

Ходовые винты скольжения 0...2-го классов точности без термического упрочнения изготавливают из сталей А40Г по ГОСТ 1414-78 и У10А по ГОСТ 1435-78. Ходовые винты скольжения 0÷2-го классов точности с укрепляющим объемным закаливанием (в основном прецизионных станков) изготавливают из сталей ХВГ, 7ХГ2ВМ, 40ХФА и др.

Ходовые винты пар качения изготавливают из легированной стали ХВГ или азотированного стали 30ХЗВА и подлежат термической обработке до HRCэ 59...63. В качестве заготовки для ходовых винтов используется сортовой прокат.

Нарезание резьбы на ходовых винтах. Резьбу на ходовых винтах нарезают несколькими методами: фрезерованием, вихревым нарезанием и с помощью резца на токарно-винторезном станке. Первые два метода используют как черновые операции. Ходовые винты нарезают на токарных и резьбо-нарезных станках прорезными и профильными резцами. При этом используют 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 (рисунок 2.15, а) [6].

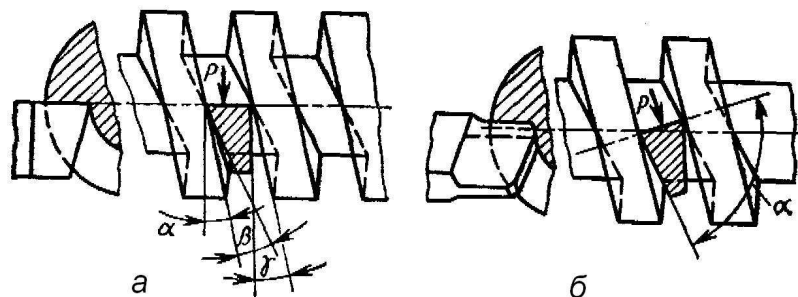


Рисунок 2.15 – Схемы установки резцов при нарезании резьбы

Все режущие кромки резца являются прямолинейными. Это значительно облегчает его заточку по профилю и обеспечивает геометрически правильный профиль резьбы ходового винта.

Недостаток метода – при большом угле подъема винтовой линии нарезаемых винтов в одной кромки резца образуется тупой угол резания, в результате чего она скребет, а не режет металл, у другой кромки образуется острый угол, ослабляет режущую кромку. Также возникает возможность врезки резца в металл под действием сил, возникающих вследствие трения одной из граней резца по стенке канавки.

При втором способе установки плоскости профиля резца относительно оси ходового винта (рисунок 2.15, б) углы резания обеих режущих кромок резца одинаковы и составляющая силы резания направлена перпендикулярно к плоскости профиля резца. Этим объясняется отсутствие недостатков, присущих первому способу. Но для получения прямобочного профиля резьбы правильной геометрической формы необходимо, чтобы все три кромки резца были выполнены криволинейными, что значительно удорожает изготовление и заточку таких резцов.

Первый способ установки резцов используют для чистового нарезания ходовых винтов с небольшим углом подъема резьбы, а второй – для черновой обработки. Чистовое нарезание ходовых винтов с большим углом подъема резьбы рекомендуется вести тремя отдельными резцами, при этом их режущие кромки выполняют прямолинейными и плоскость профиля резца устанавливают в плоскости, проходящей через ось ходового винта.

Фрезерование резьбы на резьбофрезерных станках дисковой фрезой с прямолинейными режущими кромками используют для черновой обработки. Дисковую фрезу устанавливают так, чтобы ось ее вращения располагалась на высоте центров перпендикулярно средней винтовой линии резьбы винта. Такая установка фрезы вызывает искривление профиля нарезаемой резьбы, поэтому его исправляют на следующих операциях калибровкой резцами. Другим недостатком такого способа является неравномерность резания, повышает шероховатость обрабатываемой поверхности и ускоряет затупление фрезы.

Резьбу нарезают на резьбофрезерных станках фрезами с быстрорежущей стали при скорости резания 40...50 м/мин., подаче 0,4...0,6 мм/зуб. При использовании фрезы с твердосплавными пластинами скорость резания возрастает до 180...200 м/мин.

Вихревое нарезание резьбы заключается в том, что при вращении обрабатываемой заготовки и параллельном движении резцовой головки вдоль ее оси с определенным шагом за один оборот заготовки происходит результирующее движение по винтовой линии. Ось резцовой головки смещена параллельно оси обрабатываемой заготовки на величину e , поэтому процесс нарезания является прерывистым (рис. 2.16).

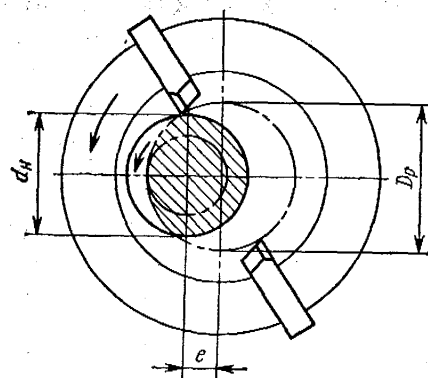


Рисунок 2.16 – Схема вихревого нарезания наружной резьбы

Резцовая головка является дисковой фрезой внутреннего касания с установленными в нее двумя, четырьмя или шестью резцами, профиль которых соответствует профилю нарезаемой резьбы. Вихревое нарезание можно выполнять как на специальных станках, так и на обычных токарных, оснащенных специальными резцовыми головками с отдельным приводом.

Вершины резцов устанавливают в инструментальной головке по окружности диаметром D_p , большим, чем диаметр нарезаемой резьбы d_n ; при $d_n = 30...40$ мм $D_p = d_n + (6...8)$ мм; при $d_n = 41...60$ мм $D_p = d_n + (8...10)$ мм.

Смещение оси вращения инструментальной головки относительно оси вращения заготовки определяется по формуле $e = D_p - \frac{d_n}{2} + t$, где t – глубина профиля резьбы.

По сравнению с фрезерованием вихревое нарезание резьбы с твердосплавными пластинами с использованием охлаждения более производи-

тельно, дает малую шероховатость поверхности и снижает деформации резьбы. Уменьшить шероховатость и повысить точность резьбы можно увеличением количества резцов в инструментальной головке и специальным распределением между ними элементов обработки резьбы.

Вихревое нарезание используют для нарезания винтов 3-го и 4-го классов точности или как предварительную операцию для нарезания винтов более высоких классов точности.

2.3.2 Технологический процесс изготовления ходовых винтов нормальной точности. Контроль ходовых винтов

Обработка ходового винта скольжения 2-го класса точности, сталь А40Г без термического упрочнения с резьбой трапецевидного профиля, станок 16К20 (серийное производство) (рисунок 2.17) [6]

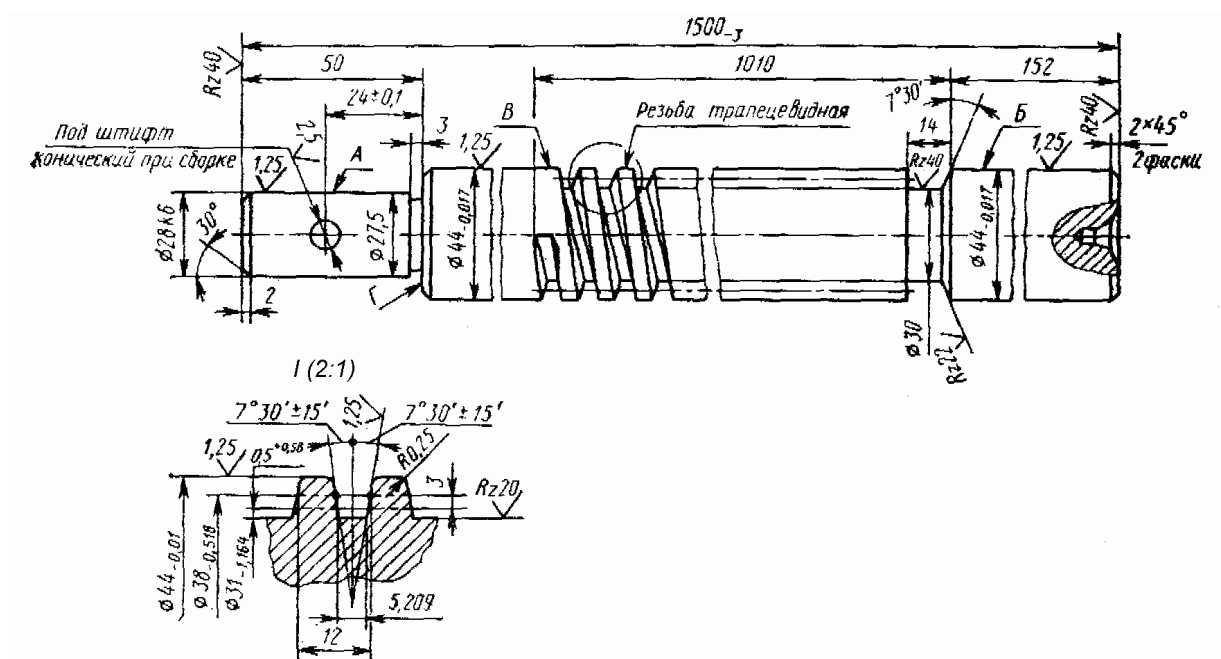


Рисунок 2.17 – Ходовой винт токарного станка 16К20

- Заготовка – прокат
- А 005 Токарно-винторезная
- Б Токарно-винторезный станок
- О Подрезать торцы, центрировать с двух торцов, снять фаски с перестановкой
- Технологическая база – наружная поверхность заготовки
- А 010 Токарно-винторезная
- Б Токарно-винторезный станок
- О Точить наружные поверхности предварительно, торцы, канавки, фаски

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 015 Токарно-винторезная
 Б Токарно-винторезный станок
 О Точить канавку, снять острые кромки

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 020 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать поверхности опорных шеек

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 025 Токарно-винторезная или Резьбофрезерная
 Б Токарно-винторезный или Резьбофрезерный станок
 О Нарезать резьбу предварительно (припуск 0,5 мм на сторону) (вихревое нарезание) или Фрезеровать резьбу

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 030 Токарно-винторезная
 Б Токарно-винторезный станок
 О Прорезать поверхность по внутреннему диаметру резьбы окончательно, прорезать боковые стороны резьбы предварительно (припуск 0,12 мм на сторону), снять фаску, зачистить заходы резьбы

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 035 Вертикально-сверлильная
 Б Вертикально-сверлильный станок
 О Сверлить отверстие под конический штифт

Технологическая база – наружная поверхность
 А 040 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать поверхности опорных шеек окончательно; притереть центры предварительно и выставить люнеты.

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
Начиная с этой операции ходовые винты необходимо хранить в вертикальном положении.

А 045 Токарно-винторезная
 Б Токарно-винторезный станок
 О Править винт до 0,05 мм; проточить боковые стороны резьбы с припуском 0,05 мм на сторону; снять фаски по ниткам резьбы. Контролировать резьбу: по среднему диаметру – индикаторным устройством; ее профиль – шаблоном

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 050 Токарно-винторезная
 Б Токарно-винторезный станок
 О Нарезать резьбу окончательно $P = 12$ мм. Контроль на станке нарезанной резьбы

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 055 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок

О Шлифовать поверхности опорных шеек окончательно
Технологическая база – поверхности центровых отверстий
А 060 Нанесение антикоррозийного покрытия

Ходовые винты повышенной точности в зависимости от класса точности предусматривают одноразовую или многократную термическую обработку для снятия внутренних напряжений. После термообработки центровые отверстия шлифуют. Межоперационное хранение винтов выполняют в вертикальном положении, а отдельные операции (особенно отделочные) выполняют в термоконстантных помещениях.

Контроль ходовых винтов. Параметры точности ходовых винтов (наружный, средний и внутренний диаметры, отклонения от круглости и от профиля продольного сечения поверхностей, угол профиля, шаг резьбы) контролируют в зависимости от класса точности ходовых винтов различными измерительными средствами: скобами с отсчетным устройством, специальными и универсальными машинами, профильными шаблонами и специальными измерительными микроскопами, приборами для контроля погрешности шага.

Измерение шага винтов невысокого (4-го) класса точности целесообразно выполнять с помощью шагомеров с одной стороны профиля на отдельных его участках (длиной 50 и 300 мм).

Для винтов более высокого класса точности шаг измеряют на специальных измерительных устройствах с использованием образцовых винтов высокой точности.

Профиль резьбы можно измерять также специальным оптическим компаратором.

3 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

3.1 Технология изготовления деталей цилиндрических зубчатых передач

3.1.1 Служебное назначение и классификация зубчатых колес. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок

Цилиндрические зубчатые колеса предназначены для передачи вращательного движения между валами с параллельными и перекрещивающимися (винтовые цилиндрические передачи) осями [2, 5, 6, 7, 9, 10, 11].

Различают: силовые зубчатые передачи, предназначенные для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов; кинема-

тические передачи, предназначенные для точной передачи вращательного движения между валами при относительно небольших значениях крутящего момента.

Цилиндрические зубчатые колеса изготавливают с прямыми и косыми зубьями, реже – с шевронными (рис. 3.1). Основные механизмы, использующие цилиндрические зубчатые колеса: коробки передач тракторов и автомобилей, редукторы, передние бабки станков, коробки передач и др. [6, 8].

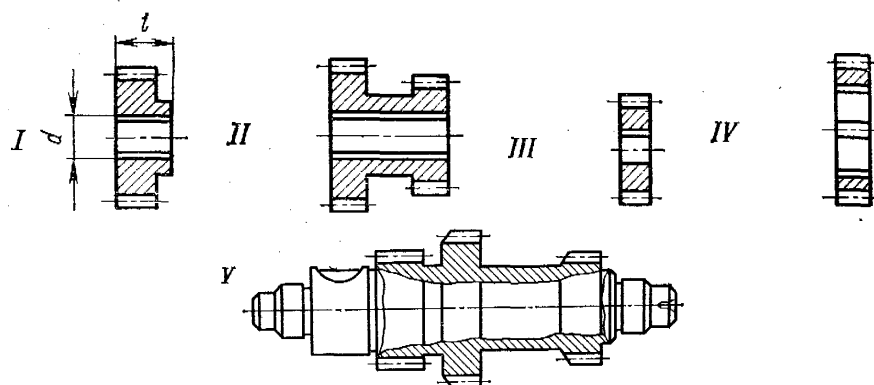


Рисунок 3.1 – Типы цилиндрических зубчатых колес

В зависимости от служебного назначения используют следующие типы зубчатых колес:

I – одновенцовые колеса ($l/d > 1$)

II – многовенцовые колеса ($l/d > 1$)

III – колеса типа дисков ($l/d < 1$)

IV – венцы, которые после обработки насаживаются и закрепляются на ступицу колеса

V – зубчатые колеса-валы.

По ГОСТ 1643-81 установлено 12 степеней точности зубчатых передач: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Для каждой степени точности предусматриваются следующие нормы:

- кинематической точности колеса, определяющие полную погрешность угла поворота зубчатых колес за один оборот;

- плавности работы колес, определяющие составляющую полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяется за оборот колеса;

- контакта зубьев, определяющие отклонения относительных размеров пятна контакта сопряженных зубьев в передаче.

Независимо от степени точности колес установлены нормы бокового зазора (виды сопряженных зубчатых колес). Существует 6 видов сопряжения зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания гарантированного бокового зазора обозначаются буквами A, B, C, D, E, H и 8 видов допуска (T_{jn}) на боковой зазор: x, y, z, a, b, c, d, h .

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготовляют из углеродистых, легированных сталей (40Х, 12ХН3А, 45), чугуна, пластических масс. Легированные стали обеспечивают более глубокую закалку и меньшую деформацию по сравнению с углеродистыми сталями.

Материал зубчатых колес должен иметь однородную структуру, обеспечивать стабильность размеров после термической обработки, особенно по размеру отверстий и шагу колес.

Нестабильность возникает после цементации и закалки, когда в заготовке остается остаточный аустенит, она может возникнуть также в результате наклепа и при механической обработке. Определено, что наибольшее коробление дает цементация и меньшее – закалка, поэтому часто исправление коробления и повышение точности шевингованием выполняют не до цементации, а между цементацией и закалкой.

При изготовлении высокоточных колес рекомендуется чередовать механическую обработку с операциями термической стабилизации размеров для снятия внутренних напряжений.

Различают основные виды заготовок зубчатых колес при различных конструкциях и серийности выпуска: заготовка с проката; поковка, выполненная свободной ковкой на ковочном молоте; штампованная заготовка в подкладных штампах, которая выполнена на молотах или прессах; штампованная заготовка в закрепленных штампах, выполненных на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах.

3.1.2 Способы формообразования зубьев цилиндрических зубчатых колес. Технология отделочной обработки зубчатых колес

Метод копирования. Нарезание зубьев по методу копирования выполняется модульной дисковой или модульной пальцевой фрезой (рис. 3.2) на вертикальных и горизонтальных станках-полуавтоматах [2, 6, 9].

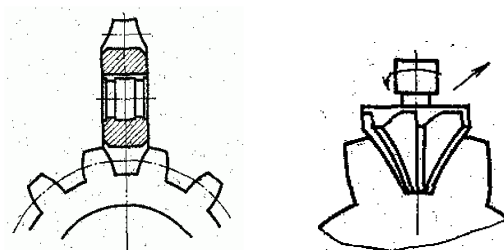


Рисунок 3.2 – Нарезание зубчатых колес модульной дисковой и модульной пальцевой фрезами

Метод позволяет получить 9-я степень кинематической точности из-за использования комплекта фрез для нарезания колес (одной фрезой соответствующего модуля нарезается количество зубьев соответствующего диапазона). В массовом производстве используют зубодолбежные резцо-

вые головки. Обработка производится аналогично обработке шлицев, которая представлена в п. 2.1.2. Метод позволяет получить 7-я ступень кинематической точности; количество нарезаемых зубьев соответствует количеству резцов, устанавливаемых в головке.

Метод обкатки. При этом методе воспроизводятся зацепление зубчатой пары «зубчатое колесо-зубчатое колесо», «зубчатое колесо-зубчатая рейка», «зубчатое колесо-червяк» [6, 9, 10].

На зубофрезерных станках выполняют зубонарезание червячными фрезами (рисунок 3.3, а). Станки могут иметь вертикальную или горизонтальную оси вращения детали. Производительность обработки увеличивают за счет увеличения диаметра фрезы (повышается стойкость инструмента), жесткости ее установки, использования специальных инструментальных материалов, применения многозаходных червячных фрез и увеличения количества одновременно нарезаемых колес.

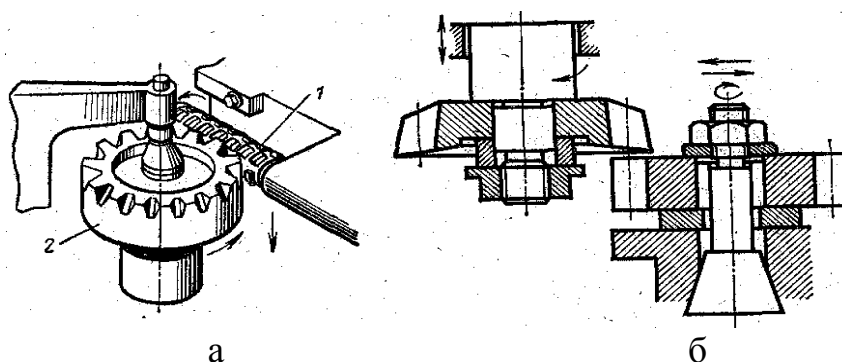


Рисунок 3.3 – Нарезание зубчатых колес червячной фрезой и зуборезным долбяком

На зубодолбежных станках выполняют зубонарезание зуборезными долбяками (рисунок 3.3, б). Обработка колес с $m = 1...2$ мм происходит за один рабочий ход; из $2 < m < 4$ – по два рабочих хода; с $m > 4$ – за три рабочих хода. Зубодолбление является единственным методом для нарезания колес с внутренним зацеплением (при средних и малых диаметрах), а также при обработке зубчатых венцов в блочных шестернях.

Зубострогание – это метод, построенный на зацеплении колеса и рейки, воспроизводимой инструментом – гребенкой. Обработка выполняется на станках с вертикальной или горизонтальной осью заготовки. Производительность метода меньше, чем при зубофрезеровании червячной фрезой и зубодолблении.

Накатывание зубчатых колес. Накатывание зубчатых поверхностей имеет большие преимущества перед способами обработки резанием: повышается производительность в 5...30 раз; увеличивается износостойкость и прочность зубьев; значительно уменьшаются отходы металла и др.

Горячее накатывание используют для профилей с модулем более 2 мм; холодное накатывание рекомендуется для мелкозубчатых колес с модулем до 1,5...2 мм. Горячее накатывание выполняют как с радиальной, так и с продольной подачей.

Отделочная обработка зубьев зубчатых колес. *Шевингование* – чистовая обработка зубьев незакаленных цилиндрических зубчатых колес (твердость не более HRCэ 40), которая выполняется шевером на зубошевинговальных станках. При шевинговании точность зубчатых колес повышается на одну степень, реже – на две.

Шлифование зубьев зубчатых колес – метод отделочной обработки, как правило, закаленных зубчатых колес. Шлифование выполняют на зубошлифовальных станках, как методом копирования, так и методом обкатки. При шлифовании методом копирования используют профильные круги (рисунок 3.4, а). Шлифование методом обкатки может выполняться на зубошлифовальных станках двумя дисковыми кругами; дисковым кругом; червячным кругом и др. (рисунок 3.4, б).

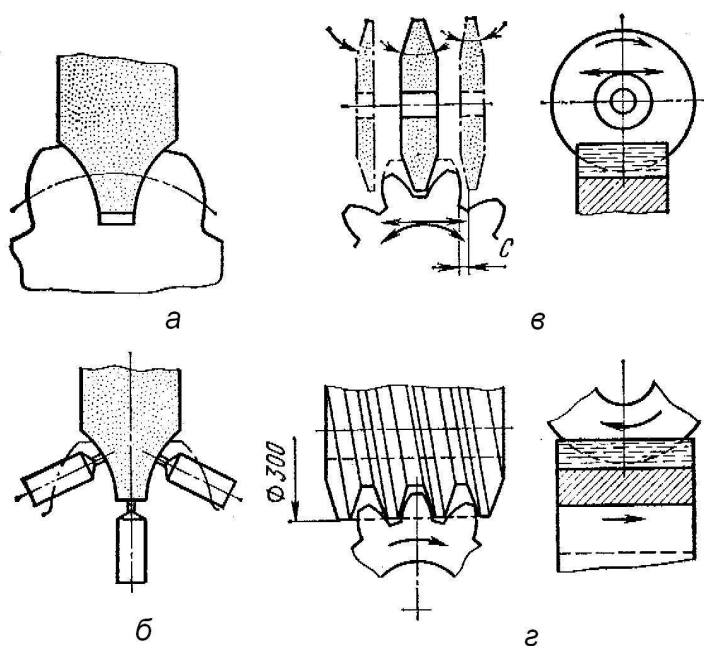


Рисунок 3.4 – Схемы зубошлифования

Наиболее производительным является шлифование двумя дисковыми кругами и особенно шлифование червячными кругами, обеспечивающие точность до 5-й степени и параметр шероховатости $Ra \leq 0,32 \mu\text{м}$.

Хонингование используют при чистовой отделочной обработке зубьев, как правило, закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений. Процесс выполняется на зубохонинговальных станках с помощью зубчатого абразивного инструмента – хона. Хонингование позволяет уменьшить шероховатость и повысить долговечность зубчатой передачи.

К отделочным методам относятся также: обкатка зубьев и прикатывание (зацепление с эталонным колесом); притирка (искусственный износ рабочей поверхности зубьев притирами с использованием абразивной пасты); приработка (притирка пары зубчатых колес без притира) и др.

3.1.3 Технология изготовления цилиндрических зубчатых колес. Контроль цилиндрических зубчатых колес

Обработка зубчатых колес со ступицей (7-й степени точности) (тип I, II) [2, 6]

005 Заготовительная

Резка проката или штамповка (поковка)

010 Термическая

Нормализация, отпуск (для снятия внутренних напряжений)

015 Токарная

Оборудование – токарно-винторезный (единичное производство), токарно-револьверный, токарный с ЧПУ (серийное производство), одно- или многошпиндельный токарный полуавтомат (массовое производство).

Точить торец обода или торец ступицы с одной стороны предварительно, точить наружную поверхность обода до кулачков патрона предварительно, расточить предварительно на проход отверстие (или сверлить и расточить), точить наружную поверхность ступицы предварительно, точить фаски.

Технологическая база – наружная поверхность обода и торец, противоположный ступице.

020 Токарная

Оборудование – то же (см. Операцию 015).

Точить базовый торец обода (противоположный ступице) предварительно, точить наружную поверхность обода, оставшуюся необработанной на опер. 015, предварительно, расточить отверстие под протягивание (шлифование), точить фаски.

Технологическая база – обработанные поверхности обода и большего торца (со стороны ступицы).

025 Протяжная (Долбежная)

Оборудование – горизонтально-протяжной или долбежный.

Протянуть (долбить в единичном производстве) шпоночный паз или шлицевое отверстие.

Технологическая база – отверстие и базовый торец

Используют варианты чистового протягивания отверстия на данной операции вместо чистового растачивания на предыдущей операции.

030 Токарная

Оборудование – токарно-винторезный (единичное производство), токарный с ЧПУ (серийное) или токарный многолезцовый полуавтомат (массовое).

Точить базовый и противоположный торцы, наружную поверхность венца окончательно.

Технологическая база – поверхность отверстия

035 Зубофрезерная

Оборудование – зубофрезерный полуавтомат

Фрезеровать зубья предварительно (обеспечивается 8-я степень точности).

Технологическая база – отверстие и базовый торец.

040 Зубофрезерная

Оборудование – зубофрезерный полуавтомат

Фрезеровать зубья окончательно (обеспечивается 7-я степень точности).

Технологическая база – отверстие и базовый торец.

045 Зубошевинговальная

Оборудование – зубошевинговальный станок

Шевинговать зубья.

Технологическая база – отверстие и базовый торец.

050 Термическая

055 Внутришлифовальная

Оборудование – внутришлифовальные станки

Шлифовать отверстие и базовый торец

Технологическая база – рабочие эвольвентные поверхности зубьев (начальная окружность колеса) и торец, противоположный базовому.

В случае базирования колеса за наружную поверхность венца для обеспечения соосности поверхностей вращения необходимо выполнить до и после термообработки круглошлифовальную операцию для шлифования наружной поверхности венца и торца, противоположного базовому.

Оборудование – круглошлифовальный или торцекруглошлифовальный станок

Технологическая база – отверстие и базовый торец.

060 Плоскошлифовальная

Оборудование – плоскошлифовальный станок

Шлифовать торец, противоположный базовому (если необходимо по чертежу).

Технологическая база – базовый торец.

065 Зубошлифовальная

Оборудование – зубошлифовальный полуавтомат

Шлифовать зубья.

Технологическая база – отверстие и базовый торец.

При малом короблении зубьев после термообработки (например, при азотировании вместо цементации) операция зубошлифования может быть заменена зубохонингованием или отсутствовать.

070 Моечная

075 Контрольная

080 Нанесение антикоррозийного покрытия.

Обработка плоских зубчатых колес (7-й степени точности)

(тип III, IV) [2, 6]

005 Заготовительная

Резка проката или штамповка (поковка)

010 Термическая

Нормализация, отпуск (для снятия внутренних напряжений)

015 Токарная

Оборудование – (подобно 015 операции обработки колеса со ступицей).

Точить торец с одной стороны, наружную поверхность до кулачков, расточить отверстие предварительно.

Технологическая база – наружная поверхность и торец.

020 Токарная

Оборудование – то же

Точить второй торец, оставшуюся наружную поверхность предварительно и расточить отверстие под тонкое растачивание или протягивание.

Технологическая база – обработанная часть наружной поверхности и торец.

025 Плоскошлифовальная

Оборудование – плоскошлифовальный станок

Шлифовать торцы последовательно с двух сторон.

Технологическая база – торец

030 Алмазно-расточная (вертикально-протяжная)

Оборудование – токарно-винторезный станок, токарный одношпиндельный полуавтомат или алмазно-расточной станок; при протягивании – вертикально-протяжной станок.

Расточить (протянуть) отверстие под шлифование.

Технологическая база – торец и наружная поверхность (алмазно-расточная операция), торец и отверстие (протяжная операция).

035 Токарная

Оборудование – токарно-винторезный станок или одношпиндельный токарный полуавтомат

Точить наружную поверхность окончательно. Обработывают несколько заготовок, установленных на оправке.

Технологическая база – торец и отверстие.

040 Зубофрезерная

Оборудование – зубофрезерный полуавтомат

Фрезеровать зубья предварительно и окончательно (может выполняться за две операции в серийном и массовом производствах).

Технологическая база – та же (см. опер. 035).

045 Протяжная (Долбежная)

Оборудование – вертикально-протяжной или долбежный станок

Протянуть (долбить) шпоночный паз или шлицы

Технологическая база – торец и отверстие

050 Зубошесвинговальная

Оборудование, содержание операции и технологическая база аналогичны операции 045 маршрута обработки колеса со ступицей.

055 Термическая

060 Круглошлифовальная

Оборудование – круглошлифовальный или торцекруглошлифовальный станок

Шлифовать наружную поверхность и один торец.
Технологическая база – отверстие и второй торец (оправка)
(Может исключаться, если при шлифовании отверстия (065) базой является эвольвентная поверхность зубьев).

065 Внутршлифовальная

Оборудование – см. опер. 055 маршрута обработки колеса со ступицей.

Шлифовать противоположный торец и отверстие за один установ.

Технологическая база – эвольвентная поверхность зубьев и торец
(см. (055) маршрута обработки колеса со ступицей).

070 Зубошлифовальная

Оборудование – см. опер. 070 маршрута обработки колеса со ступицей.

Шлифовать зубья.

Технологическая база – торец и отверстие.

075 Моечная

080 Контрольная

085 Нанесение антикоррозийного покрытия

Обработка плоских зубчатых колес-валов (7-й степени точности)
(тип V) [2, 6]

005 Заготовительная

Резка проката или штамповка (поковка)

010 Фрезерно-центровальная (горизонтально-расточная)

Оборудование – фрезерно-центровальный (горизонтально-расточной) станок

Фрезеровать и центрировать торцы с двух сторон.

Технологическая база – поверхности наружных ступеней заготовки и один из торцов

015 Токарная

Оборудование – токарно-винторезный, токарно-револьверный, токарный с ЧПУ

Точить наружные поверхности заготовки предварительно с одной стороны

Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец

020 Токарная

Оборудование – то же (см. Опер. 015)

Точить наружные поверхности предварительно с другой стороны

Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец

025, 030 Токарная

Оборудование – то же (см. Опер. 020)

Точить наружные поверхности окончательно (опер.015, 020)

Технологическая база – то же, что и на опер. 015, 020

035 Фрезерная

Оборудование – вертикально-фрезерный, шпоночно-фрезерный, продольно-фрезерный станок

Фрезеровать шпоночную канавку

Технологическая база – поверхность шеек, торец

040 Зубофрезерная
 Оборудование – зубофрезерный полуавтомат
 Фрезеровать зубья крайнего венца
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

045 Зубофрезерная
 Оборудование – зубофрезерный полуавтомат
 Фрезеровать зубья среднего большого венца
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

050 Зубодолбежная
 Оборудование – зубодолбежный станок
 Долбить зубья крайнего венца
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

055 Зубозакругляющая
 Оборудование – зубозакругляющий станок
 Закруглить зубья крайнего венца
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

060 Зубозакругляющая
 Оборудование – зубозакругляющий станок
 Закруглить зубья среднего большого венца
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

065, 070, 075 Зубошевинговальная
 Оборудование – зубошевинговальный станок
 Шевинговать зубья крайнего венца (опер. 065), среднего венца (опер. 070), венца с другой стороны вала (опер. 075).
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

080 Термическая

085 Круглошлифовальная
 Оборудование – круглошлифовальный станок
 Шлифовать ступени вала с одной стороны
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

090 Круглошлифовальная
 Оборудование – круглошлифовальный станок
 Шлифовать ступени вала с другой стороны
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

095, 100, 105 Зубопритирочная
 Оборудование – зубопритирочный станок
 Притереть зубья малого венца (опер. 095), среднего большого венца (опер. 100), крайнего венца (опер. 105).
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий

110 Моечная

115 Контрольная
 Контроль выполняется в 2 этапа: при изготовлении колес до зубообработки; после зубообработки (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Контроль зубчатых колес

Обрабатываемая поверхность	Вид обработки	Проверяемые параметры	Приспособления
До обработки зубьев			
Торцы и цилиндрические поверхности	Чистовая обработка точением или шлифованием	Биение торцов, биение по наружным цилиндрическим поверхностям	Индикаторные приспособления
Шлицевое отверстие с посадкой по малому диаметру шлицев	Протягивание шлицев	Ширина шлицевого паза	Шаблон предельный
		Большой диаметр шлицев Малый диаметр шлицев	Пробка предельная
	Калибрование шлицев	Ширина шлицевого паза	Шаблон предельный
		Относительное расположение шлицев	Шлицевой комплексный калибр
	Чистовая обработка отверстия по малому диаметру шлицев шлифованием	Диаметр малого отверстия	Пробка предельная или прибор для измерения отверстий
Шлицевое отверстие с посадкой по малому диаметру шлицев	Калибрование шлицев после термической обработки	Ширина шлицевого паза	Шаблон предельный
		Относительное расположение шлицев	Шлицевой комплексный калибр
При обработке зубьев			
Обработка зубьев колес	Чистовое фрезерование или долбление зубьев	Колебание измерительного межцентрового расстояния: за один оборот колеса на одном зубе	Прибор для двухкомплексной профильной проверки зубчатых колес Скоба предельная

Продолжение таблицы 3.1

Обрабатываемая поверхность	Вид обработки	Проверяемые параметры	Приспособления
Обработка зубьев колес	Шевингование или шлифование зубьев	Длина общей нормали	Микрометр для измерения длины общей нормали
		Колебание межцентрового расстояния: за один оборот колеса на одном зубе	Прибор для комплексной проверки зубчатых колес
		Длина общей нормали	Нормалемер, микрометр для измерения длины общей нормали, скоба индикаторная
		Колебание длины общей нормали	Прибор для контроля углового шага
		Погрешность направления зуба	Прибор для контроля эвольвенты и направления зуба
		Радиальное биение зубчатого венца	Прибор для контроля радиального биения зубчатого венца

3.2 Технология изготовления деталей конических зубчатых передач

3.2.1 Служебное назначение и классификация зубчатых колес.

Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок

Конические зубчатые колеса предназначены для передачи вращательного движения между валами с перекрещивающимися осями. Их изготавливают с прямыми, косыми и круговыми зубьями [2, 6, 10, 11].

На конические передачи ГОСТ 1758-81 установлено 12 степеней точности. Для 1...3-й степеней точности предельные отклонения и допуски на нормы точности не предусмотрены.

В кинематических цепях прецизионных станков и станков повышенной точности используют колеса 5...6-й степеней, в коробках скоростей и

подач станков нормальной точности – колеса 7-й степени, а в кинематических цепях более грубых механизмов – колеса 8-й степени точности.

По конструкции конические колеса можно разделить на 3 основных типа: колеса со ступицей, в которых соотношение $l/d > 1$ (рисунок 3.5, а); колеса венцового типа (рисунок 3.5, б), колеса-валы (рисунок 3.5, в).

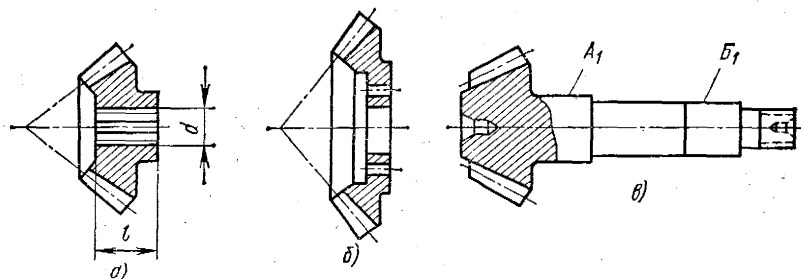
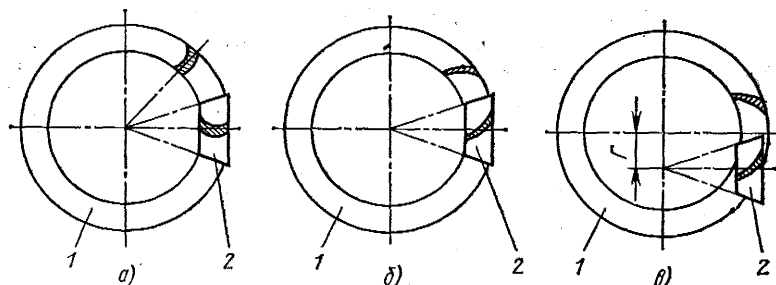


Рисунок 3.5 – Конструктивное исполнение конических зубчатых колес

Каждой степени точности зубчатых колес и передач соответствуют определенные нормы кинематической точности, нормы плавности работы и нормы контакта зубчатых колес. Существует 6 видов сопряжений зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания гарантированного бокового зазора $j_{\min}$ обозначаются буквами А, В, С, D, Е, Н.

Конические колеса с круговыми зубьями обеспечивают плавную и бесшумную работы при передаче больших нагрузок на больших круговых скоростях. Используют колеса с круговыми зубьями трех типов (рис. 3.6).



а – типа Зерол (нулевые); б – спирально конические; в – гипоидные колеса
Рисунок 3.6 – Конические колеса с круговыми зубьями

1 У колес типа Зерол (нулевые) угол наклона спирали внутри венца равен нулю (рисунок 3.6, а). Их можно использовать вместо конических колес с прямыми зубьями, не меняя монтажных размеров передачи.

2 У спирально-конических колес угол спирали внутри венца не равен нулю (рисунок 3.6, б). Такие колеса всегда имеют в зацеплении не менее двух зубьев, что позволяет передавать мощность на 30 % больше мощности, передаваемой колесом Зерол. Такие колеса используют в авиации, станкостроении и автотракторной промышленности.

3 У гипоидных колес ось ведущей шестерни смещена относительно оси ведомого колеса (рисунок 3.6, в). Они имеют большую прочность и позволяют получить большую плавность и бесшумность работы, чем дру-

гие колеса. Гипоидные зубчатые передачи используют в автомобилестроении, станкостроении.

Конические зубчатые колеса изготавливают из углеродистых сталей: сталь 40, сталь 45 (подвергаются закалке), сталь 15, сталь 20 (подвергаются цементации), или легированных сталей: сталь 40Х (подвергается закалке), 20Х (подвергается цементации), хромоникелевых (18ХГТ, 20ХНМ).

Заготовками в зависимости от типа производства являются штамповки, поковки или круглый прокат.

3.2.2 Способы формообразования зубьев конических зубчатых колес. Технология отделочной обработки зубчатых колес

Нарезание конических зубчатых колес. Конические зубчатые колеса с прямыми, тангенциальными и криволинейными зубьями могут быть нарезаны различными методами. Фрезерование дисковыми и пальцевыми модульными фрезами методом копирования выполняют на специальных или универсально-фрезерных станках [6, 7, 8, 10].

Дисковые фрезы используют для чернового нарезания прямозубых колес в условиях крупносерийного производства и для чистового нарезания небольших колес невысокой точности в единичном производстве.

Пальцевые фрезы используют для нарезания больших колес (диаметр 3000...5000 мм, $m \leq 50$ мм) небольшой точности с прямыми и криволинейными зубьями. Фрезерование дисковыми или пальцевыми модульными фрезами позволяет получить 9...10-й степени точности и параметр шероховатости боковой поверхности зубьев $Ra = 10...5$ мкм.

Нарезание зубьев круговой протяжкой является наиболее производительным методом изготовления прямозубых конических колес небольшого диаметра (рис. 3.7).

В процессе цикла протяжка поворачивается и поступательно перемещается от точки O_1 до точки O_2 и обратно (движение подачи). Таким образом нарезают конические колеса в массовом производстве на специальных автоматах и полуавтоматах.

Строгание двумя резцами по методу обкатывания используют для нарезания конических колес (диаметром 50...1000 мм, $m \leq 20$ мм) с прямыми и косыми зубьями. Нарезание зубьев выполняют на специальных зубострогальных станках в условиях единичного и серийного производства. Колеса с $m > 3,5$ мм нарезают за несколько рабочих ходов. Для колес с $m > 5$ мм предварительное нарезание зубьев целесообразно выпол-

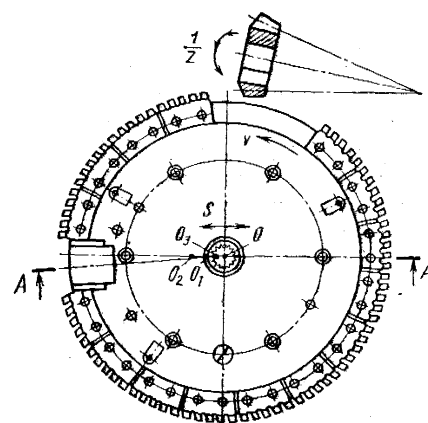


Рисунок 3.7 – Схема нарезания конических колес круговой протяжкой

нять фрезерованием дисковыми фрезами, а окончательное – строганием. Стругание двумя резцами по методу обкатывания обеспечивает 7...8-ю степени точности и параметр шероховатости боковой поверхности зубьев $Ra = 1,25...2,5$ мкм.

Прямые зубья конических колес могут быть нарезаны также строганием одним или двумя резцами по копиру на зубострогальных станках. Этот метод позволяет нарезать колеса большого диаметра (2000...4500 мм) с $m \leq 30$ мм. Нарезание крупномодульных колес осуществляется за 4...5 рабочих ходов. Достигается 8...9-е степени точности, параметр шероховатости боковой поверхности зубьев $Ra = 5...2,5$ мкм. Метод используют в тяжелом машиностроении, в единичном и мелкосерийном производствах.

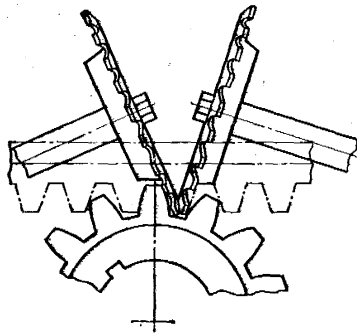


Рисунок 3.8 – Схема фрезерования двумя дисковыми фрезами методом обкатывания

Фрезерование двумя дисковыми фрезами методом обкатывания (рисунок 3.8) выполняют на специальных зубофрезерных станках в условиях крупносерийного производства. Нарезают как прямозубые, так и конические колеса (диаметром до 320 мм, $m < 8$ мм) с прямым или бочкообразным профилем зуба в продольном сечении. Метод значительно производительнее зубострогания.

Фрезерование торцевыми резцовыми головками используют для нарезания конических колес с криволинейными зубьями. Обработку выполняют на специальных станках методом копирования (врезания) или обкатки.

Конические колеса с $m \leq 2,5$ мм нарезают за один рабочий ход. Для колес с $m > 2,5$ мм используют черновую и чистовую обработку.

При методе копирования заготовка колеса остается неподвижной, а резцовая головка вращается, перемещается вдоль оси и прорезает впадину зуба. При методе обкатывания (рисунок 3.9) заготовка шестерни 1 и люлька 2 с резцовой головкой 3 выполняют согласованное вращение. В процессе вращения режущие кромки резцов последовательно занимают определенные положения, создавая круговые зубья воображаемого плоского колеса 4, с которым находится в зацеплении заготовка шестерни.

При черновой обработке метод копирования используют главным образом для нарезания зубьев колеса, а метод обкатки – для чернового нарезания зубьев шестерни [11].

Отделочная обработка конических зубчатых колес. В крупносерийном и массовом производствах отделочную обработку конических колес выполняют по следующей технологической схеме. После зубонарезания выполняют обкатку колес под нагрузкой (нагартровку). Затем закалку и окончательную притирку зубьев. Обкатку выполняют на обкатных станках при безззорном зацеплении заготовки в паре с закаленным колесом, в зону контакта подается машинное масло. После термообработки выполняют подбор пар зубчатых колес по суммарному пятну контакта и шуму, а затем

притирку колес. Конические колеса в подобранной паре притирают на притирочных станках. Притирка уменьшает шероховатость поверхности зубьев, улучшает форму суммарного пятна контакта и геометрию зацепления. Уровень шума передач уменьшается на 4 ... 6 дБ.

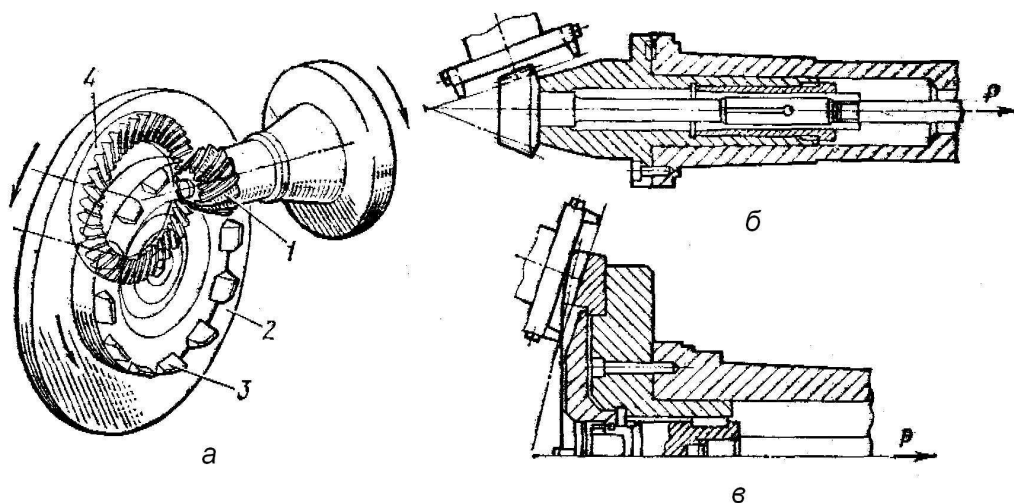


Рисунок 3.9 – Схема нарезания круговых зубьев конических колес методом обкатывания резцовой головкой, расположение заготовки и схема нарезания резцовой головкой (а), схема нарезания колеса-вала (б), схема нарезания плоского колеса (в)

Отделочная обработка закаленных конических колес достигается шлифованием на специальных зубошлифовальных станках с целью повышения точности и уменьшения шероховатости поверхности.

В зависимости от конструкции станка при шлифовании конических колес возможна обработка одним кругом отдельно каждой стороны зуба или двумя кругами одновременно двух боковых поверхностей зуба. Шлифование выполняют дисковыми или тарельчатыми кругами.

Для шлифования зубьев прямозубых конических колес используют также специальное зубошлифовальное приспособление, устанавливаемое на зубострогальные станки. При этом требуемая точность достигается методом обкатывания, когда зубья плоского производящего колеса создаются кромками шлифовальных кругов.

3.2.3 Технология изготовления конических зубчатых колес. Контроль конических зубчатых колес

Контроль конических зубчатых колес. Конические зубчатые колеса проверяют в большинстве случаев на тех же приборах, и цилиндрические. Отклонения окружного шага и накопленную погрешность окружного шага проверяют на универсальном зубоизмерительном приборе с угловым лимбом, отклонение окружного шага измеряют с помощью шагомера [6].

Радиальное биение зубчатого венца проверяют с помощью конического ролика и индикатора на приборе для конических и цилиндрических колес. Толщину зуба контролируют штангензубомером.

Колебание измерительного межосевого угла и колебание бокового зазора в передаче контролируют в двухпрофильном зацеплении с эталонным колесом на приборе для комплексной двухпрофильной проверки или на контрольно-обкатном станке.

Осевое смещение зубчатого венца, отклонения относительных размеров суммарного пятна контакта и уровень звукового давления проверяют на контрольно-обкатных станках.

Обработка конических колес 8-й степени точности (тип I) [6]

005 Заготовительная (штамповка)

010 Токарная

Оборудование – токарно-винторезный (единичное производство), токарно-револьверный, токарный с ЧПУ (серийное производство)

Подрезать торец, сверлить, расточить отверстие.

Технологическая база – коническая поверхность заготовки, торец

015 Протяжная

Оборудование – горизонтально-протяжной станок

Протянуть отверстие и шлицы

Технологическая база – поверхность отверстия и торец

020 Токарная

Оборудование – см. опер. 010

Точить наружные поверхности заготовки (на оправке) предварительно

Технологическая база – поверхность отверстия и торец

025 Токарная

Оборудование – см. опер. 010

Точить наружные поверхности заготовки (на оправке) окончательно

Технологическая база – поверхность отверстия и торец

030 Зубострогальная (зубофрезерная)

Оборудование – зубострогальный (зубофрезерный) станок

Нарезать зубья предварительно

Технологическая база – поверхность отверстия и торец

035 Зубострогальная (зубофрезерная)

Оборудование – зубострогальный (зубофрезерный) полуавтомат

Нарезать зубья окончательно

Технологическая база – поверхность отверстия и торец

040 Контрольная

045 Термическая

050 Внутришлифовальная

Оборудование – внутришлифовальный станок

Шлифовать отверстие и торец

Технологическая база – боковые поверхности трех впадин зубьев и торец

055 Моечная

060 Контрольная

Оборудование – контрольно-обкатной станок

Подобрать зубчатую пару

Технологическая база – поверхность отверстия и торец

Если необходимо изготовить зубчатое колесо 5÷6-й степени точности, то в ТП добавляются операции калибровки шлицевого отверстия после термической обработки. Также выполняют тонкое шлифование базовых поверхностей (отверстия, торца). Окончательно обрабатывают зубья шлифованием (чистовым и отделочным) профилей зубьев.

Обработка конических колес-валов 5...6-й степеней точности (тип III), серийное производство [6]

005 Заготовительная (штамповка)

010 Фрезерно-центровальная

Оборудование – фрезерно-центровальный станок

Фрезеровать торцы, зацентровать

Технологическая база – наружная поверхность шеек, торец

015 Токарная

Оборудование – токарный гидрокопировальный полуавтомат, токарный с ЧПУ

Точить наружные поверхности с одной стороны заготовки предварительно

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

020 Токарная

Оборудование – токарный гидрокопировальный полуавтомат, токарный с ЧПУ

Точить наружные поверхности с другой стороны заготовки предварительно

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

025 Термическая

030 Токарная

Оборудование – см. опер. 015

Точить наружные поверхности с одной стороны окончательно

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

035 Круглошлифовальная

Оборудование - круглошлифовальный станок

Шлифовать базовую шейку и торец предварительно (создание базы для обработки зубчатого венца)

Технологическая база – поверхности центровых отверстий

040 Токарная

Оборудование – токарно-револьверный станок повышенной точности

Точить конусные, торцевые поверхности под зубчатый венец окончательно

Технологическая база – цилиндрическая поверхность шеек, торец

045 Зубофрезерная

Оборудование – зубофрезерный полуавтомат

Фрезеровать зубья колеса предварительно
Технологическая база – цилиндрическая поверхность шеек, торец
050 Зубострогальный
Оборудование – зубострогальный полуавтомат
Строгать зубья предварительно
Технологическая база – цилиндрическая поверхность шеек, торец
055 Зубострогальный
Оборудование – зубострогальный полуавтомат
Строгать зубья окончательно, 6-я степень точности (припуск под шлифование 0,2...0,3 мм на толщину зуба)
Технологическая база – цилиндрическая поверхность шеек, торец
060 Моечная
065 Контрольная (проверка пятна контакта)
070 Термическая (цементация, закалка до HRC 60, низкий отпуск)
075 Круглошлифовальная
Оборудование – круглошлифовальный станок
Шлифовать базовые шейки и торец
Технологическая база – поверхности центровых отверстий
080 Вертикально-фрезерная
Оборудование – вертикально-фрезерный станок
Фрезеровать шпоночную канавку
Технологическая база – цилиндрические поверхности шеек, торец
085 Слесарная
090 Термическая (искусственное старение)
100 Круглошлифовальная
Оборудование – круглошлифовальный станок повышенной точности
Шлифовать базовые шейки и торец окончательно ($R_a = 1,25$ мкм, допустимое биение торца и шеек – не более 0,003...0,005 мм)
Технологическая база – поверхности центровых отверстий
105 Круглошлифовальная
Оборудование – см. опер. 100
Шлифовать конусные, цилиндрические, торцевые поверхности зубчатого венца окончательно
Технологическая база – поверхности центровых отверстий
110 Зубошлифовальная
Оборудование – зубошлифовальный станок повышенной точности
Шлифовать зубья предварительно (под окончательное шлифование остается 1/3 общего припуска)
Технологическая база – цилиндрические поверхности шеек, торец
115 Зубошлифовальная
Оборудование – зубошлифовальный станок повышенной точности
Шлифовать зубья окончательно ($R_a = 1,25$ мкм)
Технологическая база – см. опер. 110
120 Моечная
125 Контрольная

Оборудование – контрольно-обкатной станок
Подобрать зубчатые колеса в пары по пятну контакта
Технологическая база – поверхности центровых отверстий
При обработке зубчатых колес большей степени точности в технологическом маршруте отсутствуют некоторые отделочные операции.

3.3 Технология изготовления деталей червячных передач

3.3.1 Служебное назначение и классификация червячных передач. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок

По служебному назначению червячные передачи разделяют на кинематические и силовые передачи. Кинематические передачи используют в различных механизмах, делительных цепях зуборезных и других металло-режущих станков для достижения высокой точности относительного поворота [2, 6, 10].

В кинематических передачах высокой точности в отличие от силовых в ряде случаев предусматривается регулирование точности относительного положения червяка и колеса. Силовые червячные передачи используют в различных редукторах, коробках скоростей и механизмов для передачи крутящего момента при большом передаточном отношении.

В ГОСТ 3675-81 предусмотрено 12 степеней точности червячных передач: 1, 2, 3 ... 11, 12. Однако нормы точности приведены для 3...9-й степеней.

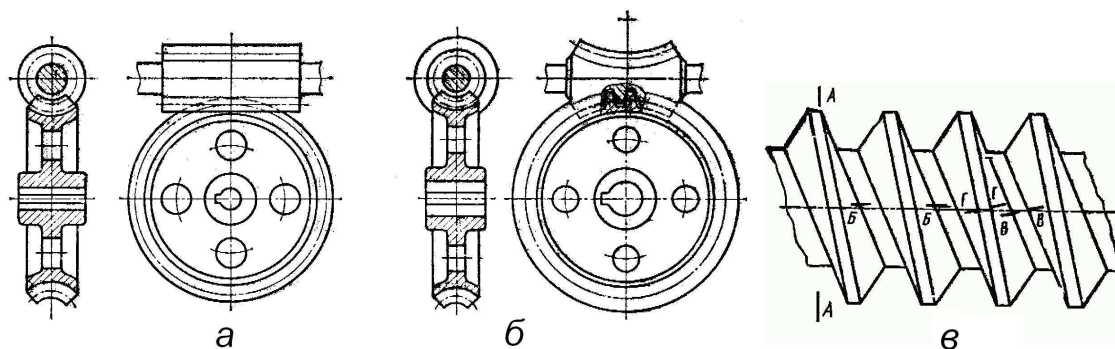
Кинематические передачи соответствуют 3...6-й, а силовые червячные передачи 5...9-й степеням точности. Каждой степени точности соответствуют нормы кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и витков. Степень точности передачи или пары определяют по одному из элементов – червяку, колесу или корпусу, у которого наиболее низкие показатели точности. Возможно комбинирование различных степеней нормы кинематической точности, плавности работы.

Согласно ГОСТ 3675-81 установлено 6 видов сопряжения червяка с червячным колесом А, В, С, D, Е, Н и 8 видов допуска T_{jn} на боковой зазор x , y , z , a , b , c , d , h . Эти обозначения в порядке убывания бокового зазора и допуска на него.

В машиностроении используют цилиндрические и глобоидные червячные передачи. Цилиндрические передачи имеют червяк, осевое сечение которого является рейкой с прямолинейными или криволинейными боковыми сторонами (рисунок 3.10, а).

Глобоидные передачи имеют червяк, осевое сечение которого является круговой рейкой с прямолинейными боковыми сторонами (рис. 3.10, б).

Цилиндрические передачи по форме винтовой поверхности разделяют на 4 вида:



а – цилиндрическая; б – глобоидная; в – сечения цилиндрических червяков: А-А – поперечное, Б-Б – осевое, В-В – перпендикулярно направлению впадины, Г-Г – перпендикулярно направлению витка

Рисунок 3.10 – Червячные передачи

1) архимедова червячная передача имеет червяк, у которого профиль боковой поверхности витка в поперечном сечении А-А (рис. 3.10, в) является архимедовой спиралью. В осевом сечении Б-Б архимедов червяк имеет прямолинейный профиль, а в сечении Г-Г, перпендикулярном к направлению витка, – криволинейный.

2) эвольвентная червячная передача имеет червяк, у которого профиль боковой поверхности витка в поперечном сечении А-А имеет форму эвольвенты. В осевом сечении Б-Б и сечении, перпендикулярном к направлению витка Г-Г, эвольвентный червяк имеет криволинейный профиль. Прямолинейный профиль витка червяка образуется в сечении плоскостью, касательной к основному цилиндру.

3) конволютная передача имеет червяк, у которого профиль боковой поверхности витка в поперечном сечении А-А является удлиненной эвольвентой (конволютой). В сечении, перпендикулярном к направлению витка Г-Г или впадины В-В, конволютный червяк имеет прямолинейный профиль.

4) нелинейные червяки имеют во всех сечениях криволинейный профиль.

Для уменьшения трения и износа, а также предотвращения заедания червячной пары рабочая поверхность витков червяка должна иметь высокую твердость и малую шероховатость, а материал червячного колеса должен иметь хорошие антифрикционные свойства.

Червяки быстроходных высоконагруженных передач изготавливают из качественных углеродистых сталей 40, 45 или легированных сталей 40Х, 40ХН и др. В этом случае используют нагрев поверхности под закалку ТВЧ или пламенем, что обеспечивает твердость рабочих поверхностей HRCэ 48...57. Наилучшие результаты получают при использовании цементированных сталей 15Х, 15ХА, 20Х, 20ХНВА, 20ХВ. Червяки наименее ответственных передач, для которых достаточна твердость HB 270, изготавливают из нормализованных или улучшенных сталей.

Глобоидные червяки изготавливают из сталей 35ХНА, 33ХГН. Для изготовления червячных колес в ответственных передачах с большими

скоростями скольжения ($v > 5$ м/с) используют бронзы БрОБ10-1, БрОНФ, при меньших скоростях используют бронзу БрАЖ9-4. Червячные колеса передач с малыми скоростями ($v < 2$ м/с), к габаритам и КПД которых не предъявляют высокие требования, изготавливают из чугуна СЧ21, СЧ15. По конструкции червяки делятся на червяки-валы, насадные червяки-втулки. Червячные колеса бывают цельными и сборными; в последних ступица – из чугуна или стали, а венец – из бронзы.

Заготовки для червяков в крупносерийном и массовом производстве штампованные, а в мелкосерийном и единичном – круглый прокат. Заготовками для червячных колес является отливки и прокат. В крупносерийном производстве используют следующие методы получения отливок – литье под давлением, литье в кокиль, литье по выплавляемым моделям. Для сборных колес небольшого размера используют заготовки в виде биметаллических отливок.

3.3.2 Способы нарезания червяков. Технология отделочной обработки червяков. Технология изготовления червяков. Контроль червяков

Винтовая поверхность цилиндрических червяков в зависимости от серийности может быть нарезана с помощью профильных резцов на токарно-винторезных станках или с помощью дисковых фрез - на универсально-фрезерных, резьбофрезерных и специальных станках [2, 6].

Достижение наиболее точного значения шага модульных червяков обеспечивается при ходовом винте станка с шагом, кратным π . Если шаг ходового винта не кратен π , то используют наборы сменных колес с передаточным отношением, примерно равным π .

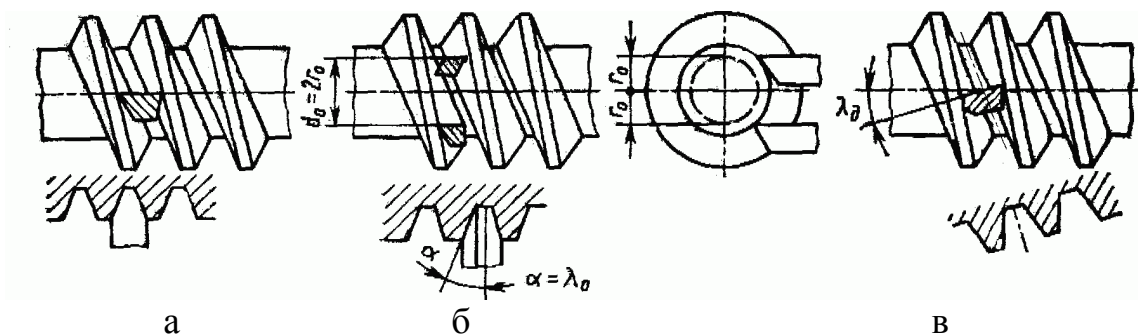
Для уменьшения погрешности профиля витка окончательное нарезание винтовой поверхности рекомендуется выполнять резцами с прямолинейной режущей кромкой.

Для нарезания архимедова червяка резец с прямолинейным профилем устанавливают так, чтобы его режущие кромки лежали в осевой плоскости червяка (рисунок 3.11, а). Червяки с малым шагом подъема винтовой линии нарезают двусторонним резцом. При больших углах подъема винтовой линии раздельно обрабатывают левую и правую стороны витка односторонними резцами.

При нарезании эвольвентного червяка резец с прямолинейным профилем устанавливают так, чтобы его режущие кромки располагались в плоскости, касательной к основному цилиндру (рисунок 3.11, б). Смещение резца от осевой плоскости определяют по формуле

$$r_o = \frac{z_1 m_{oc}}{2 \pi \operatorname{tg} \alpha},$$

где r_o – радиус основного цилиндра;
 z_1 – количество заходов;
 m_{oc} – модуль в осевом сечении;
 α – угол профиля резца, равный углу подъема витка на основном цилиндре.



*а – архимедов; б – эвольвентный; в – конволютный
 Рисунок 3.11 – Схемы нарезания резцами червяков*

Для нарезания конволютного червяка резец с прямолинейным профилем устанавливают так, чтобы его режущие кромки в соответствии с нужными геометрическими параметрами червяка лежали в плоскости, нормальной направлению витка или направлению впадины (рис. 3.11, в).

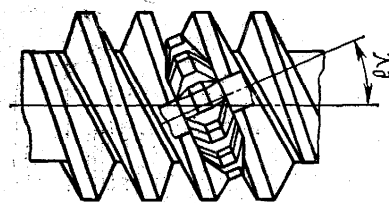


Рисунок 3.12 – Схема нарезания цилиндрического червяка дисковой фрезой

Цилиндрические червяки нарезают дисковыми фрезами в серийном и массовом производстве. Для нарезания фрезу устанавливают так, чтобы ее ось вращения была наклонена на угол подъема витка червяка λ_d , а средняя точка А располагалась на одной высоте с осью червяка (рис. 3.12).

При такой установке фрезы червяк профилируется в нормальном сечении по впадине. Поэтому для нарезания архимедова, эвольвентного и нелинейного червяков фреза должна иметь криволинейный профиль, а для нарезания конволютного червяка – прямолинейный. Червяки с $m \leq 10$ мм фрезеруют за один рабочий ход, а с $m > 10$ мм – за два рабочих хода. Фрезерование дисковыми фрезами в основном используют для чернового нарезания витков червяка. Используют в основном фрезы с прямолинейным профилем.

Пальцевые фрезы используют для нарезания крупномодульных червяков в мелкосерийном и единичном производстве. Фрезу устанавливают так, чтобы ее ось вращения пересекала ось червяка под углом 90° .

В условиях крупносерийного и массового производства червяки можно нарезать кольцевой резцовой головкой на токарных станках (вихревое нарезание). Для нарезания архимедовых и эвольвентных червяков в кольцевых резцовых головках используют резцы с криволинейным профилем, а для нарезания конволютных червяков – с прямолинейным.

Нарезание червяков червячными фрезами методом обкатки выполняют на универсальных зубофрезерных и шлицефрезерных станках. Этим методом нарезают эвольвентные червяки с большим углом подъема витка, для чего используют червячные фрезы с прямолинейной режущей кромкой. Он обеспечивает высокую производительность, так как все витки многозаходных червяков нарезают одновременно, однако точность (8...9-й степени) невысокая, поэтому его используют в основном на предварительных операциях.

Шлифуют червяки дисковыми, чашечными и пальцевыми кругами. Дисковыми кругами шлифуют архимедовы, эвольвентные и нелинейные червяки. При двухстороннем шлифовании дисковым кругом ось вращения круга, как и при фрезеровании, наклонена к оси червяка под углом подъема витка на делительной диаметре. Для шлифования архимедовых и эвольвентных червяков при такой установке круг должен иметь криволинейный профиль, получаемый путем правки по шаблонам, профиль которых рассчитывают таким же образом, как и профиль дисковых фрез.

При малых углах подъема архимедовы червяки относительно невысокой точности (8...9-й степени) можно шлифовать прямоблочным кругом. При этом погрешность профиля уменьшается при уменьшении диаметра круга. При одностороннем шлифовании эвольвентных червяков дисковым кругом с прямолинейным профилем (рисунок 3.13) образующая круга должна совпадать с образующей червяка.

Для шлифования эвольвентного червяка плоской стороной дискового круга ось круга поворачивают в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Чашечные конические круги используют для одностороннего шлифования эвольвентных и архимедовых червяков (рисунок 3.14). Чашечные круги обеспечивают наилучшее приближение к архимедову червяку, чем дисковые круги того же диаметра. Точную архимедову поверхность получают при криволинейном профиле круга.

Пальцевые круги используют как для одностороннего, так и для двухстороннего шлифования крупномодульных червяков с $m \geq 15$ мм.

Одностороннее шлифование используют при обработке эвольвентных червяков. Круг устанавливают таким образом, чтобы его прямолинейная образующая совпадала с прямолинейной образующей эвольвентной винтовой

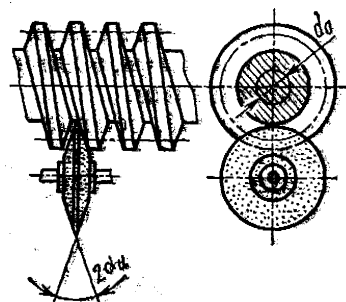


Рисунок 3.13 – Схема шлифования эвольвентного червяка дисковым кругом

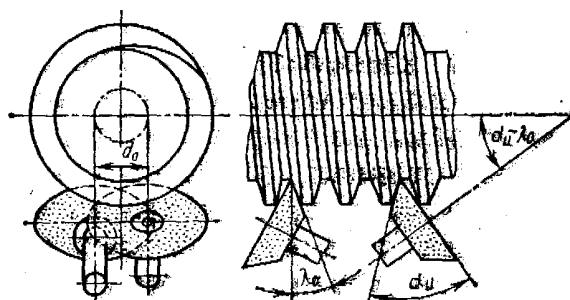


Рисунок 3.14 – Схема шлифования эвольвентного червяка чашечным кругом

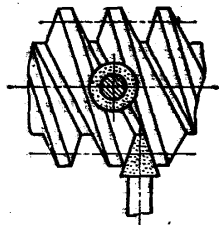


Рисунок 3.15 – Схема шлифования червяков пальцевым кругом

поверхности. При двухстороннем шлифовании архимедовых и эвольвентных червяков пальцевый круг должен иметь криволинейный профиль, ось круга должна пересекать ось червяка под прямым углом (рис. 3.15).

Контроль червяков. Для червяков 3...4-й степеней точности предусмотрен контроль погрешности винтовой линии, как в пределах оборота, так и на всей длине нарезанной части червяка. Используют для

контроля специальный прибор. Червяк вращается, а измерительный наконечник прибора, соприкасающийся с боковой поверхностью витка, перемещается параллельно оси червяка в соответствии с номинальным значением хода, который задается эталоном. При наличии отклонения прибор фиксирует его.

У червяков 5...9-й степеней контролирует не винтовую линию, а отклонение осевого шага, погрешность профиля витка и радиальное биение витков. Отклонение шага червяка проверяют с помощью индикатора и двух наконечников. Угол и погрешность профиля витка червяка проверяют шаблонами или на специальных приборах и приборах для контроля шага. Проверку выполняют в том сечении, где профиль витка номинально прямолинейный. Радиальное биение витков червяка (оси делительной окружности) относительно опорных шеек проверяют с помощью калиброванных роликов и индикатора, инструментальных микроскопов или проекторов.

Обработка делительных червяков типа валов (4-я степень точности, $m = 3$ мм) [6]

А 005 Заготовительная (штамповка)

А 010 Термическая

А 015 Фрезерно-центровальная

Б Фрезерно-центровальный полуавтомат

О Фрезеровать торцы и зацентровать

Технологическая база – поверхности двух ступеней заготовки и один торец

А 020 Токарно-винторезная

Б Токарно-винторезный станок

О Точить поверхности детали с переустановкой предварительно

Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец

А 025 Токарно-винторезная

Б Токарно-винторезный станок

О Нарезать витки червяка предварительно (припуск 1,2...1,6 мм на толщину витка)

Технологическая база – поверхности центровых отверстий.

А 030 Термическая

А 035 Токарно-винторезная

Б Токарно-винторезный станок

О Точить поверхности детали окончательно (припуск 0,4...0,6 мм на шлифование)
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий, торец.
 А 040 Токарно-винторезная
 Б Токарно-винторезный станок повышенной точности П
 О Нарезать витки червяка окончательно (припуск 0,6...0,8 мм на толщину витка)
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий.
 А 045 Вертикально-фрезерная
 Б Вертикально-фрезерный станок
 О Фрезеровать шпоночный паз
 Технологическая база – поверхности двух шеек, торец одной из ступеней
 А 050 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать наружные поверхности под цементацию
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 055 Резьбошлифовальная
 Б Резьбошлифовальный станок
 О Шлифовать профиль витков червяка предварительно под цементацию
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 060 Термическая (цементация, закалка)
 А 065 Центрошлифовальная
 Б Центрошлифовальный станок
 О Шлифовать центровые отверстия; $Ra = 0,32...0,2$ мкм
 Технологическая база – поверхности одного центрального отверстия и одной шейки
 А 070 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать наружные поверхности и торцы предварительно
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 075 Резьбошлифовальная
 Б Резьбошлифовальный станок
 О Шлифовать профиль витков червяка предварительно
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 080 Термическая
 А 085 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок
 О Шлифовать наружные поверхности и торцы с припуском под окончательное шлифование
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 090 Резьбошлифовальная
 Б Резьбошлифовальный станок
 О Шлифовать профиль витков червяка с припуском 0,1...0,15 мм на толщине витка

Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 100 Термическая (старение)
 А 105 Центрошлифовальная
 Б Центрошлифовальный станок
 О Шлифовать центровые отверстия; $Ra = 0,04$ мкм
 Технологическая база – поверхности одного центрального отверстия и одной шейки
 А 110 Круглошлифовальная
 Б Круглошлифовальный станок особо высокой точности
 А О Шлифовать наружные поверхности и торцы; $Ra = 0,32...0,16$ мкм
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 115 Резьбошлифовальная
 Б Резьбошлифовальный станок
 О Шлифовать профиль витков червяка окончательно;
 $Ra = 0,25...0,16$ мкм
 Технологическая база – поверхности центровых отверстий
 А 120 Контрольная

3.3.3 Технология изготовления червячных колес. Способы формообразования зубьев червячных колес. Технология отделочной обработки червячных колес. Контроль червячных колес

Червячные колеса нарезают на зубофрезерных станках методом обкатки с радиальной, тангенциальной или комбинированной подачей. Метод обкатки с радиальной подачей обеспечивает наибольшую производительность и используется при черновом нарезании зубьев цилиндрической червячной фрезой. Методом обкатки с тангенциальной подачей достигается большая точность, он используется при чистовом нарезании зубьев конусно-цилиндрической червячной фрезой. Метод обкатки с комбинированной подачей заключается в том, что сначала на черновом этапе используется радиальная подача, а на чистовом этапе – тангенциальная подача [2, 6].

В условиях мелкосерийного производства и для колес большого модуля зубья нарезают с помощью «летучих» резцов по методу обкатки с тангенциальной подачей. Черновое нарезание колес можно выполнять также на универсально-фрезерных станках с делительной головкой дисковыми фрезами. Шевингование используют для отделочной обработки зубьев колес 6-й степени точности и более. В качестве инструмента используют червячные шеверы. Шевингование используют после фрезерования или нарезания резцом-летучкой. Шевингование выполняют методом обкатки с радиальной и окружной подачами.

Контроль червячных колес. В зависимости от степени точности проверяют такие параметры, как кинематическая и циклическая погреш-

ность обработки, радиальное биение зубчатого венца, накопленная погрешность окружного шага, колебания измерительной межосевого расстояния. Методы контроля точности червячных колес аналогичны методам контроля точности для цилиндрических колес, но параметры зубчатого венца проверяют в средней плоскости и дополнительно контролируют погрешности производящей поверхности инструмента. Кинематическую и циклическую погрешности обработки контролируют путем измерения точности делительной цепи зубофрезерного станка, предназначенного для нарезания червячного колеса. Контроль производится с помощью оптических теодолитов и коллиматоров.

Погрешность производящей поверхности инструмента определяется как отклонение винтовой производящей поверхности шевера или червячной фрезы, применяемых для нарезания колеса и винтовой линии сопрягаемого червяка. Измерение выполняют с помощью прибора для контроля винтовой линии червяков.

Отклонения окружного шага определяют шагомером или на специальных приборах. Отклонения измерительного межосевого расстояния проверяют в сопряжении с эталонным червяком на приборах для комплексной двухпрофильной проверки. Правильность суммарного пятна контакта червячной передачи проверяют по краске на контрольно-обкатных станках или специальных приспособлениях.

Обработка червячного делительного колеса (4-я степень точности, $m = 2...6$ мм, $D = 200...800$ мм) [6]

А 005 Заготовительная (отливка)

А 010 Токарная

Б Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок

О Точить торец, наружную поверхность, расточить выточку предварительно

Технологическая база – наружная поверхность, торец

А 015 Токарная

Б Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок

О Точить торец, наружный венец, расточить отверстие, расточить выточку предварительно

Технологическая база – поверхность выточки, торец

А 020 Токарная

Б Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок

О Точить торец, расточить выточку с припуском $0,5...1$ мм, $Ra = 2,5$ мкм

Технологическая база – наружная поверхность, торец

А 025 Зубофрезерная

Б Зубофрезерный станок

О Фрезеровать зубья предварительно; припуск $0,6 ... 1,5$ мм по толщине зуба

Технологическая база – поверхность выточки, торец

А 030 Термическая (искусственное старение)

- А 035 Токарная
Б Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок повышенной точности
О Точить торец, расточить выточку окончательно
Технологическая база – наружная поверхность, торец
- А 040 Сверлильная
Б Вертикально- или радиально-сверлильный станок
О Сверлить крепежные отверстия и технологические отверстия
Технологическая база – поверхность выточки, торец
- А 045 Токарная
Б Токарно-винторезный или токарно-карусельный станок повышенной точности
О Точить торец, расточить базовую выточку (выверка по наружному диаметру до 0,01...0,03 мм и фиксация на планшайбе через крепежные отверстия)
Технологическая база – поверхность выточки, торец
- А 050 Слесарно-сборочная
О Собрать червячное колесо с планшайбой зубофрезерного станка
- А 055 Зубофрезерная
Б Зубофрезерный станок повышенной точности
О Фрезеровать радиусную выточку, фрезеровать зубья под шевингование
Технологическая база – поверхность выточки, торец
- А 060 Зубошевинговальная
Б Зубошевинговальный станок
О Шевинговать зубья колеса
Технологическая база – поверхность выточки, торец
- А 065 Слесарная
О Зачистить заусенцы
- А 070 Контрольная

4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

4.1 Технология изготовления вилок, рычагов и шатунов

К деталям класса «некруглые стержни» относятся рычаги, вилки, балансиры, шатуны и т.п.

Рычаги являются звеньями кинематических цепей машин, выполняющих необходимые перемещения деталей с необходимой скоростью или фиксирующих их положение относительно других деталей (рис. 4.1) [6, 8].

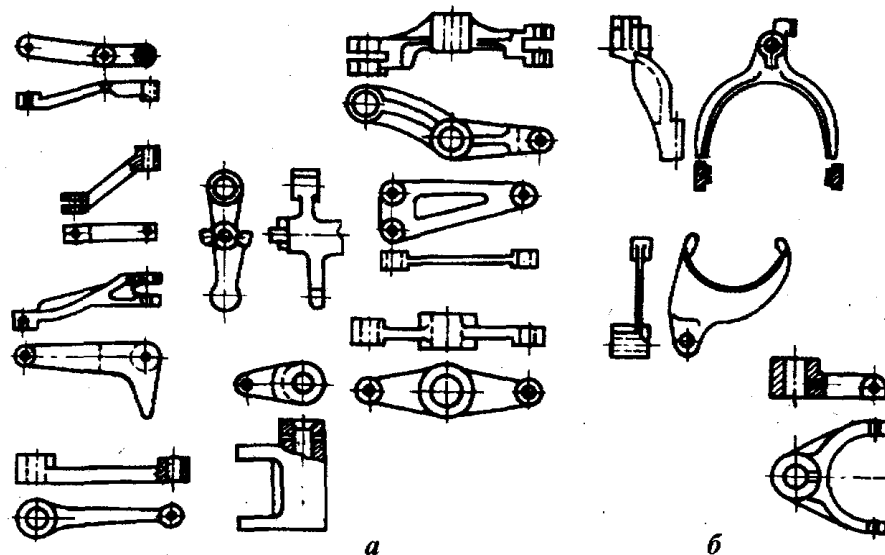


Рисунок 4.1 – Конструктивные разновидности рычагов (а) и вилок (б)

Технические условия для рычагов: точность диаметров основных отверстий IT7...IT9; отклонение межосевого расстояния основных отверстий 0,05...0,2 мм; точность размера между торцами бобышек по IT10, IT11; точность ширины шпоночных пазов по IT9, IT10; отклонение от параллельности осей основных отверстий 0,05...0,25 мм на 100 мм длины; отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей бобышек относительно оси основных отверстий 0,05...0,3 мм на 100 мм радиуса; отклонение от перпендикулярности торцевых поверхностей лапок вилок относительно оси основных отверстий 0,1...0,3 мм на 100 мм длины; отклонение от соосности наружных поверхностей головок нагруженных рычагов относительно оси отверстий 0,5...1 мм (из условий прочности); шероховатость поверхностей основных отверстий $Ra = 0,32...2,5$ мкм, торцов головок $Ra = 1,25...3,2$ мкм.

Рычаги и вилки изготавливают из конструкционных и легированных сталей 20, 35, 45, 35X, 40X, 18ХНМА, 18ГН4ВА, а также серого и ковкого чугуна СЧ10, СЧ15, КЧ37-12 и др.

В зависимости от объема выпуска, типа производства и материала заготовки получают ковкой, штамповкой или литьем.

Для снятия остаточных напряжений после штамповки и улучшения обрабатываемости после ковочных операций заготовки рычагов подвергают нормализации. Стальные рычаги и вилки из среднеуглеродистых сталей, работающих при значительных нагрузках, для повышения прочности подвергают термической обработке (закалка и отпуск).

Заготовки рычагов из чугуна получают литьем в песчаные формы. Стальные отливки рычагов сложной формы получают литьем в керамические формы по выплавляемым моделям. Для устранения возможного искривления рычага из стали и ковкого чугуна подвергают правке до и в процессе обработки.

Для повышения точности заготовок используют плоскостное или объемное калибрование.

Технологический процесс обработки рычагов [8]

А 005 Вертикально-фрезерная (горизонтально-фрезерная)

Б Вертикально-фрезерный (горизонтально-фрезерный) станок

О Фрезеровать поверхности торцов основных отверстий

Технологическая база – торцы и наружные поверхности бобышек

А 010 Вертикально-сверлильная (радиально-сверлильная)

Б Вертикально-сверлильный (радиально-сверлильный) станок

О Сверлить (при отсутствии отверстия в заготовке), зенкеровать, развернуть основные отверстия

Технологическая база – торцы и наружные поверхности головок

А 015 Вертикально-протяжная (долбежная)

Б Вертикально-протяжной (долбежный) станок

О Протянуть (долбить) шпоночный паз или шлицы в основных отверстиях

Технологическая база – поверхность одного из отверстий, торец

А 020 Вертикально-фрезерная

Б Вертикально-фрезерный станок

О Фрезеровать поверхность стержня рычага, прорези, пазы

Технологическая база – поверхность одного из отверстий (или поверхности двух отверстий), торец

А 025 Вертикально-сверлильная

Б Вертикально-сверлильный (с ЧПУ в серийном производстве) станок

О Сверлить, зенкеровать вспомогательные отверстия, нарезать резьбу

Технологическая база – торец, две технологические лыски на малой головке и лыска на большой головке рычага

В крупносерийном и массовом производстве обработка может выполняться на специализированных многопозиционных станках с объединением нескольких операций в одну.

Контроль рычагов в массовом производстве выполняют с помощью специальных контрольных приспособлений, в других производствах с помощью универсальных измерительных средств: скоб, индикаторов, щупов.

Отклонение от плоскостности торцевых бобышек проверяют на контрольной плите с помощью щупа. Расстояние между осями отверстий проверяют с помощью гладких контрольных оправок и микрометрической скобы.

Отклонение от параллельности отверстий контролируют с помощью специальных валиков. Рычаг устанавливают в вертикальное положение на призмы (рисунок 4.2, а). При покачиваниях рычага на нижней оправке определяют показания индикатора, соответствующего вертикальному положению рычага. Измерение с каждой стороны выполняют на одинаковом расстоянии от торцов бобышек. Разница показаний индикатора указывает на отклонение от параллельности осей отверстий на длине L .

Перпендикулярность торцов бобышек к осям основных отверстий проверяют индикатором при установке рычага на контрольной оправке в центрах (рис. 4.2, б) или с помощью щупа, используя контрольный валик с буртом.

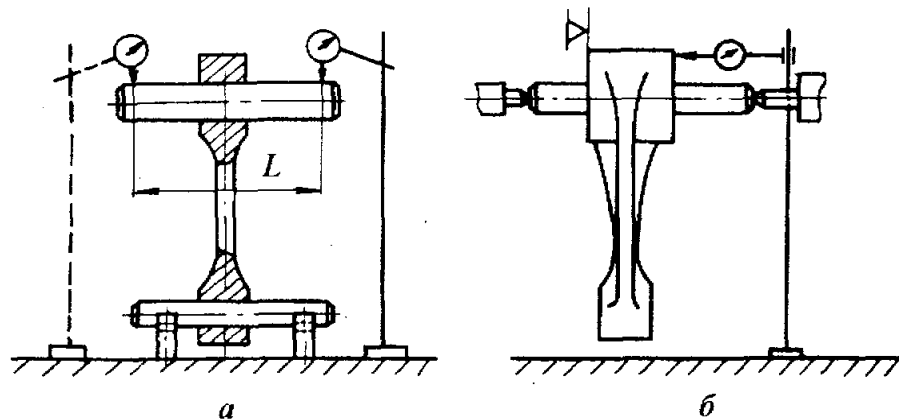


Рисунок 4.2 – Схемы контроля отклонений от параллельности осей основных отверстий (а) и от перпендикулярности торцов бобышек к осям основных отверстий (б)

Шатуны являются звеньями шатунно-кривошипных механизмов главным образом поршневых двигателей внутреннего сгорания и компрессоров, где он служит для передачи усилия от поршня и преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное движение коленчатого вала двигателя или, наоборот, вращательного движения вала в возвратно-поступательное движение поршня компрессора, который сжимает воздух для подачи его под давлением [8]. При работе шатуны подвергаются действию значительных знакопеременных нагрузок и сил инерции, поэтому они должны иметь высокую прочность, жесткость и минимальную массу.

Эти требования определяют конструкцию шатунов (рис. 4.3), характеризующихся наличием большой 1 (кривошипной) и малой 3 (поршневой) головок, соединенных стержнем 2 (телом шатуна).

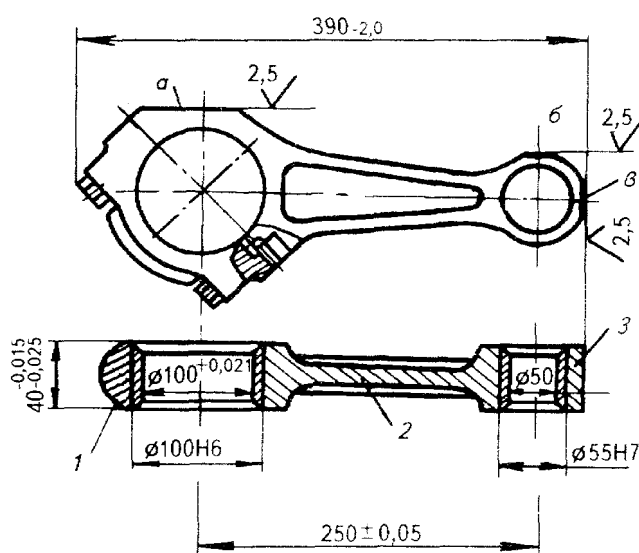


Рисунок 4.3 – Шатун сборный

Большинство шатунов имеют разъемные кривошипные головки, причем у автотракторных двигателей (у которых установка шатунов в кар-

тер через цилиндр усложнена из-за значительных размеров кривошипных головок) разъем выполняют под углом плоскости симметрии шатуна для удобства его установки.

В кривошипные головки шатунов для снижения трения скольжения устанавливают вкладыши с антифрикционным покрытием. Малая головка шатуна, как правило, неразъемная, в ее отверстие запрессовывают бронзовую биметаллическую (сталь-бронза) втулку. Тело (стержень) шатунов обычно имеет двутавровое сечение и только у больших шатунов в ряде случаев – круглое сечение, причем в середине его может быть маслопроводное отверстие, соединяющее поверхности трения головок шатуна.

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.

В соответствии с ГОСТами установлены технические условия на шатуны для разных машин. Отверстие под запрессованную втулку и отверстие под поршневой палец двигателя компрессора должны быть изготовлены по IT5...IT7, а отверстия под вкладыши в кривошипных головках шатунов – по IT6, IT7. Допуски цилиндричности этих отверстий составляют 0,5 допуска диаметра отверстия для бензиновых двигателей 0,66 допуска диаметра отверстий для дизельных двигателей и не больше 0,5 допуска диаметра отверстия для компрессора. Шероховатость поверхности основных отверстий $Ra = 0,32...0,5$ мкм. Допуск параллельности осей отверстий малой и большой головок 0,02...0,04 мм на 100 мм длины отверстия. Отклонения от перпендикулярности торцевых поверхностей головок к осям 0,01...0,05 мм на 100 мм радиуса, а площадок под гайки головок призонных болтов к осям для них 0,07...0,1 мм на длине 100 мм. Точность изготовления отверстий под болты IT9. Отклонение массы шатуна от массы, указанной на чертеже, не больше 3 %.

В качестве материалов для шатунов используют конструкционные среднеуглеродистые стали 40, 45, легированные стали 45Г2, 18ХНМА, 18ХГН4ВА, высокопрочные ковкие чугуны и титановые сплавы. В условиях серийного и массового производства заготовками для шатунов автомобилей, тракторных двигателей и компрессоров являются штамповки.

Штампованные заготовки шатунов и крышек автотракторных двигателей часто подвергают калибровке и чеканке. Калибровка повышает точность формы и размеров заготовок по всему профилю и способствует постоянству их масс. Это дает возможность уменьшить припуски на обработку, а также ее трудоемкость. Для снятия остаточных напряжений после штамповки, а также для улучшения обрабатываемости заготовки шатунов подвергают нормализации.

Технологический процесс обработки шатуна (крупносерийное производство) [8]

А 005 Карусельно-фрезерная

Б Карусельно-фрезерный станок

О Фрезеровать торцы головок с переустановкой
Технологическая база – торцы бобышек, наружная поверхность бобышек

А 010 Плоскошлифовальная
Б Плоскошлифовальный станок
О Шлифовать торцы головок шатуна предварительно
Технологическая база – торцы бобышек

А 015 Агрегатно-сверлильная
Б Агрегатно-сверлильный полуавтомат
О Сверлить, зенкеровать отверстие в малой головке шатуна
Технологическая база – торцы бобышек, наружные поверхности бобышек

А 020 Вертикально-протяжная
Б Вертикально-протяжной станок
О Протянуть три базовые лыски *а...в*
Технологическая база – торцы бобышек и отверстия в большой и малой головках шатуна

А 025 Горизонтально-фрезерная
Б Горизонтально-фрезерный станок
О Разрезать большую головку шатуна
Технологическая база – торцы и отверстия в малой головке, технологические лыски

А 030 Вертикально-протяжная
Б Вертикально-протяжной станок
О Протянуть плоскость разъема большой головки шатуна
Технологическая база – торцы бобышек

А 035 Агрегатно-сверлильная (сверлильная с ЧПУ)
Б Агрегатно-сверлильный полуавтомат (крупносерийное производство), сверлильный с ЧПУ (серийное производство)
О Сверлить, зенкеровать, нарезать резьбу в крепежных отверстиях в плоскости разъема шатуна
Технологическая база – торцы бобышек шатуна, отверстие в малой головке шатуна, лыска на большой головке шатуна

А 040 Слесарно-сборочная
Б Сборочный стенд
О Собрать стержень шатуна с крышкой

А 045 Агрегатно-расточная
Б Агрегатно-расточной станок
О Зенкеровать отвори в головки шатуна
Технологическая база – торец бобышки, две лыски на малой головке, лыска на большой головке шатуна

А 050 Плоскошлифовальная
Б Плоскошлифовальный станок
О Шлифовать торцы головок шатуна остаточной
Технологическая база – торцы бобышек

А 055 Слесарно-сборочная
Б Сборочный стенд
О Разобрать шатун
А 060 Вертикально-фрезерная
Б Вертикально-фрезерный станок
О Фрезеровать паз–замок под вкладыш в стержне и в крышке. Фрезеровать паз в малой головке шатуна

Технологическая база – торец бобышки, две лыски на малой головке, лыска на большой головке шатуна

А 065 Слесарно-сборочная
Б Сборочный стенд
О Собрать шатун с крышкой
А 070 Агрегатно-расточная
Б Агрегатно-расточной станок
О Расточить отверстие в большой и малой головках шатуна
Технологическая база – торцы головок шатуна, отверстия в головках шатуна

А 075 Слесарно-сборочная
Б Сборочный стенд
О Запрессовать втулки в малую головку шатуна
А 080 Хонинговальная
Б Хонинговальный полуавтомат
О Хонинговать отверстие в большой головке шатуна
Технологическая база – торцы головок шатуна, отверстия в головках шатуна

А 085 Слесарно-сборочная
Б Сборочный стенд
О Установить вкладыш в большую головку шатуна
А 090 Горизонтально-расточная
Б Горизонтально-расточной станок повышенной точности или алмазно-расточной полуавтомат

О Расточить отверстия в большой и малой головках шатуна окончательно

Технологическая база – торцы головок шатуна, отверстия в головках шатуна

А 095 Контрольная
Контроль размеров основных поверхностей выполняют калибрами, глубиномерами, скобами и штангенциркулями.

Контроль точности расположения поверхностей выполняют так же, как и у рычагов.

4.2 Технология изготовления лопаток паровых и газовых турбин

Лопатки турбин, количество которых на одну турбину составляет 1500...3000 штук, представляют собой детали с пониженной жесткостью с криволинейными точными поверхностями (рисунок 4.4) [8].

Лопатки разделяют на направляющие (неподвижные) и рабочие (вращающиеся с ротором турбины). Главные части лопаток – замок 1 и рабочая часть 2, называемая «пером». Лопатки для паровых турбин применяются с длиной пера 200...1000 мм, для газовых турбин 30...600 мм.

Для небольших газовых турбин применяют цельные роторы с фрезерованными или электрохимически обработанными лопатками.

Основные технические условия на изготовление рабочих лопаток паровых турбин: допускаемые отклонения по профильным кривым рабочей части 0,05...0,1 мм; допускаемые отклонения по профильным кривым спинки 0,15 мм; допускаемые отклонения по посадочным местам профиля хвоста 0,02 мм; шероховатость поверхности наружного и внутреннего профиля рабочей части $Ra = 0,32...0,08$ мкм.

В большинстве случаев для паровых турбин применяют легированные жаростойкие стали марок 1X13, 2X13, X17H2, 15X11МФ, 1X18H9Т, 18ХНВА, ХН35ВТ и др., для газовых турбин – специальные жаростойкие стали и сплавы.

Заготовками лопаток являются штамповки, получаемые в закрытых штампах, или провальцованные штамповки. Также заготовки получают выдавливанием в горячем состоянии в специальных матрицах и электроэрозионной обработкой. Для направляющих лопаток и цельных роторов можно применять литье по выплавляемым моделям.

Технологический процесс обработки лопаток паровых турбин.
(заготовка – штамповка)

А 005 Вертикально-фрезерная с ЧПУ

Б Вертикально-фрезерный с ЧПУ

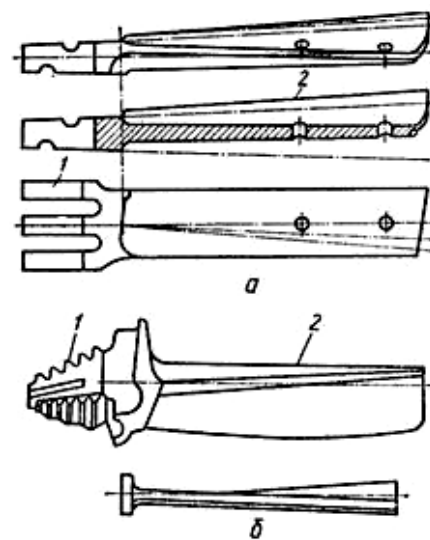
О Фрезеровать наружную поверхность и пазы замка предварительно
Технологическая база – поверхность рабочей части

А 010 Вертикально-протяжная

Б Вертикально-протяжной

О Протянуть пазы

Технологическая база – наружная поверхность замка



а – паровых турбин;

б – газовых турбин

Рисунок 4.4 – Лопатки

А 015 Плоскошлифовальная
Б Плоскошлифовальный
О Шлифовать боковые стороны замка и подошву лопатки
Технологическая база – замок и поверхность рабочей части
А 020 Вертикально-фрезерная с ЧПУ
Б Вертикально-фрезерный с ЧПУ
О Фрезеровать спинку лопатки
Технологическая база – замок и поверхность рабочей части
А 025 Вертикально-фрезерная с ЧПУ
Б Вертикально-фрезерный с ЧПУ
О Фрезеровать корыто лопатки
Технологическая база – замок и поверхность рабочей части
А 025 Шлифовальная
Б Шлифовальный с ЧПУ
О Шлифовать спинку и корыто лопатки
Технологическая база – замок
А 030 Полировальная
Б Полировальный с ЧПУ
О Полировать спинку и корыто лопатки
Технологическая база – замок

5 ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН

5.1 Технологический процесс сборки и его структура

Технологический процесс сборки – это часть производственного процесса, предусматривающая действия по установке составных частей изделия и образованию соединений из них. Объектом узловой сборки является составная часть изделия, общей сборки – изделие в целом. Технологический процесс состоит из операций, переходов, ходов, приемов, установов, позиций [2, 4, 11].

5.2 Последовательность разработки технологического процесса сборки

Разработка технологического процесса сборки включает в себя изучение и анализ исходной (базовой) информации и непосредственно технологическое проектирование.

Основные этапы проектирования технологического процесса сборки [2, 4]:

- 1) изучение и анализ исходной информации;
- 2) определение типа производства и организационной формы сборки;
- 3) анализ технологичности конструкции;
- 4) анализ существующего технологического процесса;
- 5) выбор методов достижения точности при сборке;
- 6) разработка технологической схемы сборки;
- 7) проектирование сборочных операций (назначение технологических баз, выбор оборудования и технологического оснащения, расчет режимов работы сборочного оборудования);
- 8) нормирование технологического процесса сборки [3];
- 9) оформление технологической документации.

5.3 Точность сборки машин и методы ее достижения

Метод полной взаимозаменяемости – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех объектов путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений. При этом допуски составляющих звеньев рассчитывают по методу максимума-минимума [2, 5].

Использование целесообразно в условиях достижения высокой точности при малом количестве звеньев размерной цепи ($m < 6$) и при достаточно большом количестве изделий, подлежащих сборке. В противном случае допуски составляющих звеньев очень небольшими, что приводит к увеличению стоимости механической обработки деталей.

Метод неполной взаимозаменяемости – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается заранее обусловленной части объектов путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или замены их значений [2, 5].

При этом предварительно устанавливается процент риска, то есть процент изделий, у которых может не обеспечиваться точность замыкающего звена. Расчет параметров составляющих звеньев при этом выполняют теоретико-вероятностным методом.

Использование целесообразно для достижения точности в многозвенных размерных цепях; допуски на составляющие звенья при этом больше, чем в предыдущем методе, что повышает экономичность получения сборочных единиц; в части изделий погрешность замыкающего звена может быть за пределами допуска на сборку, то есть возможен определенный риск несобираемости.

Метод групповой взаимозаменяемости – метод, при котором требуется точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерный цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы [2, 5].

Сущность метода заключается в том, что детали собираемого изделия обрабатываются по расширенным экономически достижимым допускам и сортируются по их действительным размерам по группам таким образом, чтобы при сборке деталей, относящихся к одноименной группе, была обеспечена точность замыкающего звена, установленная требованиями сборочного чертежа. Метод групповой взаимозаменяемости используется для размерных цепей, состоящих из небольшого количества звеньев (обычно трех-четырех). Он используется при сборке соединений особо высокой точности, которая практически не достижима методами полной и неполной взаимозаменяемости (шариковые подшипники, плунжерные пары, резьбовые соединения с натягом и др.). Сборку по методу групповой взаимозаменяемости называют селективной сборкой.

Расчетами определяют групповые допуски деталей, количество групп n , на которые должны быть рассортированы собираемые детали, величины групповых допусков и предельных групповых размеров.

Метод групповой взаимозаменяемости позволяет значительно повысить точность сборки без существенного повышения требований к точности механической обработки или расширить допуски на механическую обработку без снижения точности сборки. Метод целесообразно использовать в крупносерийном и массовом производствах.

Метод регулирования – метод, при котором требуется точность замыкающего звена размерной цепи, достигается изменением размера или положения компенсирующей звена без удаления материала из компенсатора. При использовании этого метода в конструкцию изделия вводится специальная деталь – компенсатор, которым могут быть подкладная плита, кольца, укладки, втулки и т. д. Собираемые детали в этом случае изготавливаются расширенными, экономически целесообразными производственными допусками [2, 5].

Преимущества метода является возможность изготовления деталей по расширенным допускам и возможность восстановления точности замыкающего звена при обслуживании или ремонте изделия путем замены компенсатора.

К недостаткам следует отнести увеличение объема сборочных работ, так что величина компенсации может быть определена путем измерения величины замыкающего звена в собранном изделии. После этого выполняется полная или частичная разборка изделия и установка (замена) необходимого компенсатора.

Положение компенсатора фиксируется гайками, стопорными винтами, клиньями и т. п. В таких случаях точность замыкающего звена обеспечивается перемещением компенсатора.

Метод подгонки – метод, при котором требуется точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала, равного T_{Δ} . Используется при сборке изделий с большим количеством звеньев; детали могут быть изготовлены с экономическими допусками, но

требуются дополнительные расходы на подгонку компенсатора; экономичность зависит от правильного выбора компенсирующего звена, которая не должна принадлежать нескольким связанным размерным цепям [2, 5].

Сборка с компенсирующими материалами – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается применением компенсирующего материала, который вводится в зазор между сопряженными поверхностями деталей после их установки в нужном положении. Использование наиболее целесообразно для соединений и узлов, базирующихся на плоскости (привалочные поверхности станин, рам, корпусов, подшипников, траверс и т. п.); в ремонтной практике для восстановления работоспособности сборочных единиц, для изготовления оснастки [2, 5].

5.4 Подготовительные операции сборочного процесса

Так как сборка изделия является конечной стадией машиностроительного производства, за которой следует лишь испытание и контроль, то детали, агрегаты и другие комплектующие должны проходить целый ряд операций по их тщательной подготовке, прежде чем они займут свое место в конструкции машины. К подготовительным операциям, от которых в большинстве случаев зависит безотказная работа машины, можно отнести следующие работы, предшествующие сборке: входной контроль деталей и агрегатов; маркировка или клеймение деталей; очистка и промывка деталей; подбор деталей по различным параметрам [4, 5].

Входной контроль деталей, материалов, агрегатов и сборочных единиц, поступающих на сборку, проводится, несмотря на то, что эти объекты уже проходили выходной (окончательный) контроль. Это связано с тем, что в процессе консервации, упаковки, транспортировки, распаковки и расконсервации эти объекты могли получить повреждение в виде вмятин, сколов и др., что будет обнаружено в процессе входного контроля внешним осмотром. При непосредственном влиянии качества поступающего на сборку материала, например припоя на качество собираемого изделия (качество паяного шва) в обязательном порядке проверяют химический состав и свойства этих материалов.

Входной контроль готовых комплектующих агрегатов и сборочных единиц проводится со следующими целями: выявление внешних дефектов визуальным осмотром; проверка регулировочных параметров, например производительность и давление на выходе маслососа.

Входной контроль деталей и сборочных единиц, поступающих на сборку со склада готовых деталей, проводят в целях обнаружения внешних дефектов, возникших при несоблюдении правил транспортировки или хранения на складе этих деталей. Начинают контроль с проверки соответствия паспортных данных техническим условиям на поставку изделия. При отсутствии на предприятии службы входного контроля его проводят непосредственно в сборочных цехах.

Маркировка и клеймение деталей применяется в единичном и мелкосерийном производстве для указания, что сборочная единица проверена и соответствует техническим требованиям. Кроме того, многие детали маркируют, нанося на них знаки, содержащие различную информацию о технических данных.

Клеймение и маркировку в сборочных цехах осуществляют в основном электрическим, химическим или электроэрозионным способом, что исключает повреждение готовых деталей.

Электрический способ клеймения и маркировки применяют в мелкосерийном производстве с использованием устройства, называемого электрографом, который состоит из понижающего трансформатора небольшой мощности, первичная обмотка которого подключена к напряжению 220 В. К вторичной обмотке трансформатора присоединена латунная или медная плита и медный штифт-электрод с оправкой из изоляционного материала. При выполнении маркировки деталь кладут на медную плиту и штифтом-электродом, как карандашом, наносят необходимую надпись в требуемом месте детали. Недостатком этого метода является возможность ошибок в надписи, так как наносят надпись вручную.

Химический способ клеймения и маркировки применяют для деталей, изготовленных из медных сплавов и сталей. При этом для нанесения каждого знака используют специальные резиновые штампы и травильные растворы. Место на поверхности детали, где разрешено нанести надпись, очищается от жирового налета. Резиновый штамп прижимают к смоченной травильным раствором подушечке, а затем делают отпечаток на поверхности детали. После появления на поверхности детали нанесенных знаков с ее поверхности удаляют излишек травильного раствора тщательной промывкой специальным раствором, а затем смазывают техническим вазелином во избежание появления коррозии. Рабочее место для химического травления должно быть оборудовано сильной вытяжкой, а работники хорошо защищены от контакта с травильной жидкостью.

Электроэрозионный способ клеймения и маркировки применяют в условиях крупносерийного и массового производства, как наиболее производительный метод. Способ основан на электроискровом эффекте. Нанесение знаков осуществляется или по трафарету, или специальным электродом-инструментом, на торце которого припаяна пластина из латуни в виде наносимого знака. Перед нанесением знака поверхность детали в месте нанесения знака слегка смачивают машинным маслом. При нанесении знака шпиндель установки, с закрепленным в нем электродом-инструментом, совершает незначительные колебания, вследствие чего между поверхностью детали и электродом возникает искрение от электрического разряда, а на поверхности детали остается след в виде латунной пластины, припаянной к торцовой поверхности электрода.

Очистка и промывка деталей. Практически все детали машин загрязняются в процессе их изготовления. Виды загрязнения могут быть различными: формовочные материалы у заготовок-отливок; металлическая стружка; опилки; абразивные материалы; остатки СОЖ или масел и др.

Безусловно, что все эти загрязнения, имеющиеся на готовых деталях, не должны попасть во время сборки машины в соединения деталей или в сопряжения различных механизмов, а также во внутреннюю полость сборочных единиц. Поэтому все детали, прежде чем их присоединят к другим деталям, тщательно очищают и промывают.

При очистке все загрязнения удаляют с поверхностей деталей механическим способом без применения промывочных жидкостей. При сухой очистке загрязнения удаляют хлопчатобумажными салфетками, волосяными щетками или вакуумом. Для извлечения стружки или опилок из труднодоступных мест в деталях применяют приспособления с постоянными магнитами. Влажная очистка производится протиркой увлажненными салфетками или щетками. Для разрыхления перед удалением нагара и других трудноудаляемых загрязнений деталь перед очисткой можно погрузить в промывочный раствор и выдержать некоторое время.

При промывке загрязнения удаляют с поверхностей деталей промывочными жидкостями. Загрязнения при этом растворяются или размягчаются, сцепление их с поверхностью детали ослабевает, и они хорошо смываются. Эффективным является совмещение в одну операцию промывки и очистки. Промывочные жидкости должны быть: нетоксичными; пожаробезопасными; не вызывать коррозии промываемых деталей; эффективными в использовании; экономически целесообразными.

Широкое применение нашли водные щелочные растворы с активизирующими добавками.

Простейшим способом промывки детали является ее окунание в неподвижную жидкость. Однако для ускорения промывки промывочные жидкости не только подогревают, но и приводят их в движение под давлением с помощью гидравлических насосов. Дополнительно в струе промывочной жидкости, направляемой на поверхность детали, создают колебательные импульсы и условия для протекания электрохимических процессов. В связи с этим различают промывку окунанием, струйную промывку движущейся жидкости, ультразвуковую и электрохимическую промывку.

Промывку окунанием производят в ваннах открытого типа. Этот способ применяют для обезжиривания деталей, разрыхления нагара, имеющегося на поверхностях детали, удаления загрязнений после очистки.

Струйную промывку производят в специальных промывочных установках, в которых промывочная жидкость подается на промываемые детали через форсунки, расположенные со всех сторон детали. Для удаления загрязнений из труднодоступных мест промываемой детали используют дополнительный шланг с насадками. Моечные машины могут содержать несколько (1...3) камер с автоматическим управлением процессом промывки деталей. Тогда в одной камере детали моют, в другой ополаскивают, а в третьей камере детали просушивают потоком теплого воздуха.

Для промывки мелких деталей, требующих высокой степени очистки, применяют *ультразвуковые установки*. Сущность метода промывки в ультразвуковых ваннах состоит в том, что на поверхности детали, погру-

женной в промывочную жидкость в ультразвуковой ванне, возникают очень мелкие пузырьки с парами жидкости, которые взрываясь, создают гидродинамическое давление на загрязненной поверхности детали и удаляют практически любые загрязнения. Это явление возникает во всех каналах промываемой детали, что важно при промывке деталей сложного профиля. Для реализации этого метода промывки требуется ультразвуковой генератор и ультразвуковая ванна.

Электрохимическую промывку деталей применяют в тех случаях, когда необходимо очистить поверхности детали от окалина, оксидных пленок или солей. Промываемую деталь на подвеске помещают в ванну с электролитом и создают разность потенциалов между промывочной деталью (анодом) и корпусом ванны (катодом). Происходит электрическая эрозия, т.е. растворение поверхности анода (детали), в результате чего оксидная пленка отрывается от поверхности детали. После окончания промывки деталь промывают под теплым душем, удаляя остатки электролита, и просушивают потоком теплого воздуха.

Качество промывки контролируют следующими способами: осмотром с применением оптических приборов; осмотром фильтрующих элементов промывочной установки; химическим анализом промывочной жидкости после промывки; взвешиванием примесей, появившихся в промывочной жидкости; специальными счетчиками частиц, содержащихся в жидкости после промывки детали.

Подбор деталей по различным параметрам производят в тех случаях, когда без подбора деталей по геометрическим или физическим параметрам, точность заданной точности обеспечить довольно трудно. Чаще всего детали подбирают по геометрическим параметрам, обеспечивается заданный зазор или натяг в соединении, массе, наименьший начальный дисбаланс ротора турбины или компрессора и др.

При подборе деталей по двум и более параметрам непосредственно на рабочем месте сборщика практически невозможно исключить «лишние детали», которым не нашлась соответствующая смежная деталь. В этом случае используют ЭВМ и специальную программу подбора деталей. Каждой детали, участвующей в сборке, присваивается порядковый номер, у нее измеряют требуемые параметры, и результаты измерений заносят в таблицу. После обработки этой таблицы на ЭВМ с учетом требуемой точности получают новую таблицу с попарным распределением деталей и списком «лишних» деталей, которым не нашлась сопрягаемая деталь. Эти «лишние» детали можно включить в следующую партию деталей, поступивших на сборку.

5.5 Особенности сборки типовых соединений и сборочных единиц машины

Виды типовых соединений. Соединения деталей в зависимости от их конструкции подразделяют на подвижные и неподвижные [2, 4, 8]. В свою очередь, среди этих соединений различают разъемные и неразъемные соединения.

Подвижными называют соединения, в которых необходимо получить взаимное перемещение одной детали относительно другой или одной сборочной единицы относительно другой (такие соединения имеют различные подвижные посадки).

Неподвижные соединения отличаются прочностью и стабильностью положения одной детали относительно другой или одной сборочной единицы относительно другой (такие соединения выполняют с натягом).

Разъёмными, или разбираемыми, называют соединения, которые могут быть разобраны без затруднений и повреждений сопряженных или крепежных деталей (такие соединения выполняют с зазором или по переходным посадкам).

Неразъёмными, или разбираемыми, называют соединения, разборка которых при эксплуатации не предусмотрена, требует больших усилий и сопровождается повреждением сопрягаемых или крепежных деталей (такие соединения выполняют сваркой, пайкой, клепкой, запрессовкой, склеиванием, завальцовкой, заливкой пластмассами и др.).

Сборка опор с подшипниками скольжения и качения. Валы и шпиндели устанавливают в корпусе на подшипниках качения и скольжения. Внутренние кольца подшипников качения, как правило, соединяют с валами по посадкам, обеспечивающим натяг (натяг валов под подшипники в зависимости от режима работы выполняют с полями допусков k5, k6, m5, m6 и др.). При легком режиме работы наружные кольца с корпусом соединяют по посадкам с зазором, при нормальном – по переходным посадкам, при тяжелом – по посадкам с натягом (поля допусков K7 и др.) [5, 12].

Большая конусность посадочных поверхностей приводит к деформации подшипника скольжения и образованию линейного контакта, что влечет за собой концентрацию напряжений и преждевременное изнашивание подшипника. При монтаже подшипников качения недопустимы чрезмерные отклонения посадочных поверхностей по эллипсности, так как в этом случае может произойти заклинивание тел вращения.

Посадка подшипников на валы, в отверстия корпусных деталей может быть выполнена с помощью ручных, гидравлических или пневматических прессов с подогревом в горячем масле при температуре 80...90 °С или охлаждением твердой углекислотой при температуре -15...-80 °С [4].

Для напрессовки и снятия подшипника могут быть использованы ручные приспособления – монтажные стаканы и оправки. Применение оправок обеспечивает равномерную посадку подшипника на шейку вала,

предотвращает перекося при установке и предохраняет подшипник от повреждений. Для напрессовки подшипников на валы, имеющие на конце резьбу, часто используют гаечные и винтовые устройства.

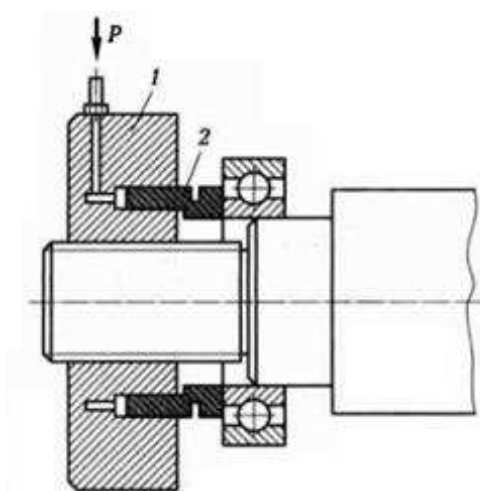


Рисунок 5.1 – Гидравлическая гайка для запрессовки подшипников

В крупносерийном производстве для напрессовки и распрессовки крупных подшипников применяют гидравлическую гайку (рисунок 5.1), которая состоит из корпуса 1 и поршня 2, перемещающегося в корпусе гайки под давлением масла [12].

В упорных шарикоподшипниках кольца имеют разные диаметры. Для того чтобы подшипник работал нормально, при сборке всегда устанавливают кольцо с меньшим внутренним диаметром на валу, а кольцо с большим внутренним диаметром – в корпусе. При установке вала в двух радиальных подшипниках один из них закрепляют неподвижно на

валу и в корпусе, а второй – только на валу, учитывая температурные деформации вала при работе узла. При сборке сборочных единиц с упорным и коническими роликоподшипниками осевой зазор регулируют прокладками или регулировочным болтом.

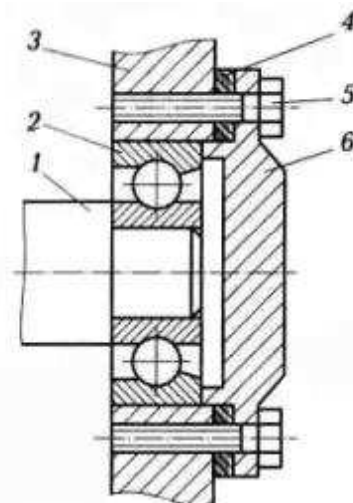
Процесс сборки опор с подшипниками качения состоит из следующих операций: подготовка деталей к сборке; контроль подшипников; предварительная сборка опор; проверка взаимного положения деталей опор; окончательная сборка опор; контроль точности сборки.

При подготовке деталей к сборке внешним осмотром проверяют чистоту и состояние деталей, подшипники расконсервируют, промывают и смазывают слоем масла.

Контроль подшипников перед сборкой проводят для выявления дефектов, влияющих на надежность работы всей опоры. Основным видом контроля является визуальный осмотр в целях обнаружения забоин, трещин, коррозии и других дефектов. В некоторых случаях измеряют геометрические параметры тел качения и посадочных размеров для получения более точного сопряжения.

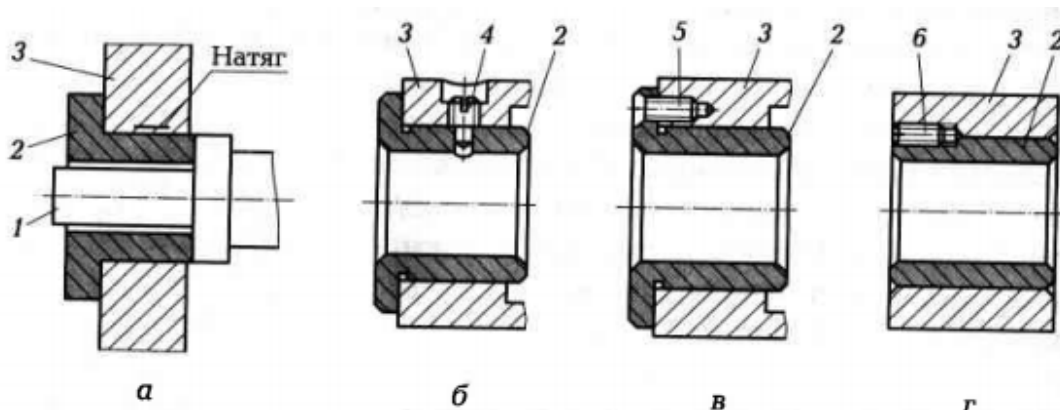
Предварительная сборка опор с подшипниками качения производится в целях подбора размеров компенсирующих элементов, определяющих действительные зазоры в подшипниках, и проверки действительных осевых и радиальных зазоров. При сборке опор с радиально-упорными подшипниками осевой зазор регулируется подбором компенсаторов. В опоре, конструктивная схема которой представлена на рисунке 5.2, компенсатором является кольцо 4. Толщину требуемого компенсатора можно определить путем расчета размерной цепи или экспериментально во время предварительной сборки опоры [4].

При экспериментальном подборе толщины компенсатора предварительная сборка опоры производится без компенсатора следующим образом. На цапфу вала 1 напрессовывают внутреннее кольцо подшипника 2. Затем собирают опору, завинчивая все болты 5, прижимая крышку 6 до момента исчезновения осевого зазора в подшипнике. Вал при этом будет проворачиваться достаточно туго. После чего в трех местах по окружности измеряют получившийся зазор между торцом крышки 6 и торцом корпуса 3 и определяют его среднее значение. Опору разбирают и определяют требуемую толщину компенсатора 4 путем прибавления к найденному среднему значению зазора величины требуемого зазора в подшипнике. Подобранный из комплекта компенсатор устанавливают на свое место, завинчивают все болты 5 с заданным усилием и проверяют действительный осевой зазор в подшипнике.



1 – вал; 2 – подшипник;
3 – корпус; 4 – компенсатор;
5 – болт; 6 – крышка
Рисунок 5.2 – Конструктивная
схема опоры с радиально-
упорным подшипником

Подшипники скольжения представляют собой втулку (вкладыш) 2, в которую входит цапфа 1 вала (рисунок 5.3, а).

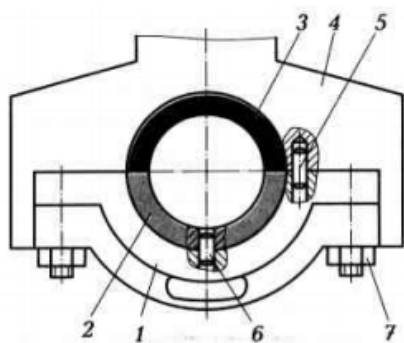


а – закрепление вкладыша силами трения; б – закрепление вкладыша
стопорным винтом; в – закрепление вкладыша винтом; г – закрепление
вкладыша резьбовым штифтом; 1 – цапфа вала; 2 – вкладыш; 3 – корпус;
4 – стопорный винт; 5 – винт; 6 – резьбовой штифт

Рисунок 5.3 – Схемы подшипников скольжения

Вкладыш выполняют либо цельным, либо разъемным. Изготавливают вкладыши из антифрикционного материала. Цельный вкладыш в виде втулки должен надежно закрепляться в корпусе одним из способов: силами трения (рис. 5.3, а) при установке вкладыша с натягом (запрессовке); сто-

порным винтом 4 (рис. 5.3, б) при наличии во вкладыше соответствующего отверстия; винтом 5 (рис. 5.3, в); резьбовым штифтом 6 (рис. 5.3, г).



1 – крышка; 2, 3 – части
(половинки) вкладыша;
4 – корпус; 5, 6 – штифты;
7 – гайка

*Рисунок 5.4 – Конструк-
тивная схема подшипника
скольжения с разъемным
вкладышем*

Разъемный вкладыш подшипника, состоящий из двух частей 2 и 3 (рис. 5.4), на сборку подают комплектом. Устанавливаются половинки вкладыша в корпус 4 и крышку 1 с небольшим натягом или зазором и фиксируются от возможного смещения штифтами 6, посадка которых в отверстия в корпусе и в крышке осуществляется с натягом 0,04...0,07 мм, а в отверстие вкладыша – с зазором 0,1...0,3 мм. Крышка 4 подшипника также фиксируется относительно корпуса штифтами или другими элементами, посадка на которые осуществляется с небольшим зазором.

Основными требованиями на сборку подшипников скольжения является обеспечение следующих параметров: заданного диаметального зазора между цапфой вала и внутренним диаметром вкладыша; заданной посадки вкладыша в корпус и крышку; надежное крепление вкладышей; заданной посадки фиксирующих штифтов.

Сборку неразъемных подшипников скольжения начинают с внешнего осмотра деталей, поступивших на сборку и подбора их по размерам для обеспечения заданных посадок. После запрессовки вкладыша происходит уменьшение внутреннего диаметра из-за деформации самого вкладыша. Если эта деформация не учтена при изготовлении вкладыша, то после запрессовки вкладыша производит калибровку внутреннего отверстия, например шариком, с обязательной смазкой.

Сборка подшипников скольжения с разъемными вкладышами аналогична сборке подшипников скольжения с неразъемными вкладышами. Одну половину вкладыша вставляют в крышку, а другую – в корпус. Особое внимание уделяют совмещению масляных каналов и их промывку после сборки. Используемый сборочный инструмент должен быть изготовлен из мягкого материала, а оправки – из дерева или текстолита во избежание вмятин и забоин на рабочих поверхностях подшипника.

Так как подшипники скольжения подразделяют на разъемные и неразъемные, специфика их сборки различна. Сборка разъемного подшипника скольжения состоит из следующих операций: сопряжения вкладыша подшипника с корпусом; проверки соосности рабочих поверхностей подшипников; подгонки прилегания рабочих поверхностей вкладышей и вала; регулирования монтажного зазора в подшипнике; установки вала в подшипнике [4, 12].

Вкладыш подгоняют к корпусу по краске, при этом отпечатки должны занимать не менее 70 % поверхности подшипника.

Одновременно с подгонкой вкладышей выверяют их соосность с корпусом, которая не может превышать 0,15 мм. Для этого используют эталонный вал, контрольную линейку и щуп или оптический метод. После выверки соосности осей подшипников приступают к сборке и пригонке вкладышей подшипника к шейкам вала, что осуществляется шабрением нижних, а затем верхних вкладышей. Подгонка считается законченной, если пятна контакта располагаются равномерно, а их число составляет 9-12 пятен на площади 25×25 мм. Зазор регулируют подбором прокладок (рис. 5.5).

Сборка зубчатых передач. В машиностроении широкое распространение нашли зубчатые передачи, которые служат для передачи крутящего момента от одного вала (ведущего) к другому валу (ведомому) [4].

Передачи с цилиндрическими зубчатыми колесами применяют для передачи крутящего момента между валами с параллельными осями. Передачи с коническими зубчатыми колесами применяют для передачи крутящего момента между валами, оси которых расположены перпендикулярно. Червячные передачи применяют для передачи крутящего момента между валами с перекрещивающимися осями.

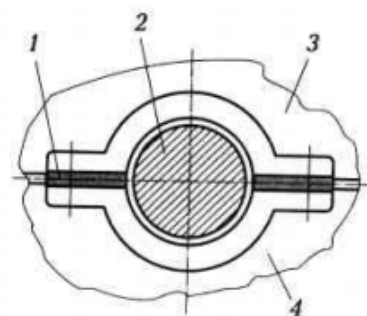
Сборка передач с цилиндрическими зубчатыми колесами. К сборке цилиндрических зубчатых передач предъявляют следующие требования: обеспечение заданного бокового зазора в сопряжении зубьев; посадка зубчатого колеса на вал с требуемым зазором; правильное зацепление зубьев сопрягаемых зубчатых колес; плавность вращения зубчатых колес и др. [2, 4, 11, 12].

На сборку зубчатые колеса поступают после прохождения подготовительных операций, таких как комплектование пар зубчатых колес по параметрам плавности хода, пятну контакта, боковому зазору и др.

Как правило, зубчатые колеса с валами соединяют по переходным посадкам: соединения по посадкам H7/js6 и H7/k6, H7/m6 и H7/h6 осуществляют с помощью прессов.

При тугих шлицевых соединениях охватываемую деталь перед запрессовкой нагревают до 80...120 °С. Легкоразъемные и подвижные шлицевые соединения осуществляют посадкой охватываемой детали с приложением небольших усилий или от руки. Такие соединения контролируют не только на биение, но и на перемещение охватываемой детали по шлицам.

После посадки зубчатых колес на валы, закрепления и проверки правильности их положения на валу эти изделия передают на дальнейшую



1 – прокладка; 2 – вал;
3 – верхняя часть
корпуса; 4 – нижняя
часть корпуса

Рисунок 53 – Регулирование радиального зазора прокладками

сборку. При установке валов на подшипниковые опоры в корпусе зубчатые колеса вводятся в зацепление друг с другом. На данной стадии сборки проверяют и обеспечивают заданный боковой зазор в зубчатом сопряжении. В одних конструкциях для регулировки бокового зазора предусмотрено изменение межцентрового расстояния сопряженных зубчатых колес, в других конструкциях боковой зазор обеспечивают путем изменения толщины зуба заменой одного зубчатого колеса (или обоих) с другой толщиной зуба в пределах допуска на изготовление.

Правильность касания поверхностей зубьев сопряженных зубчатых колес проверяют по пятну контакта (на краску). Для этого эвольвентную поверхность зубьев меньшего зубчатого колеса покрывают тонким слоем специальной краски и проворачивают большее зубчатое колесо на один оборот. После разборки соединения исследуют положение пятен краски (пятна контакта) на большем зубчатом колесе и делают вывод о правильности зацепления данной пары зубчатых колес в конструкции. Нормы размеров и положений пятна контакта регламентированы стандартами, например для передачи, собранной из зубчатых колес 7-й степени точности, размер пятна контакта по высоте зуба должен быть не менее 45 %, а по ширине – не менее 60 %.

Форма и место расположения пятна контакта указывают на неточности сборки зубчатого сопряжения. Если пятно контакта располагается ближе к вершине зуба, то межцентровое расстояние несколько увеличено, а при эксплуатации такого сопряжения зубья могут сломаться раньше времени. Форма пятна контакта в виде клина указывает на то, что валы с насаженными зубчатыми колесами несколько непараллельные.

Сборка передач с коническими зубчатыми колесами. Одним из основных условий правильности зацепления конической зубчатой передачи является совпадение вершин делительных конусов зубчатых колес. Допустимые смещения вершины делительного конуса колеса (длина образующей R_e) относительно оси второго колеса и вершины делительного конуса второго колеса относительно оси первого колеса регламентируются ГОСТом (рис. 5.6) [2, 4, 12].

Боковой зазор между зубьями конических зубчатых колес контролируют щупом или свинцовой пластиной. В идеальном случае зубья касаются друг друга всей рабочей поверхностью (если принимать за рабочую поверхность узкую полосу вдоль всей линии зуба), в соприкосновении находится от 1/2 до 3/4 длины зуба.

Основные размеры конического зубчатого колеса обычно рассматриваются во внешнем сечении, где зуб имеет наибольшие размеры на поверхности дополнительного конуса (внешний делительный диаметр $d_e = mz$, диаметр вершин зубьев $d_{ae} = m(z + 2aS\delta)$, где m – модуль колеса; z – число зубьев; a – коэффициент зацепления; S – зазор между зубьями; δ – угол делительного конуса (угол между осью конического колеса и образующей его делительного конуса, рис. 5.6, а). Зубья могут рассматриваться в любом сечении (среднем, внутреннем и др.).

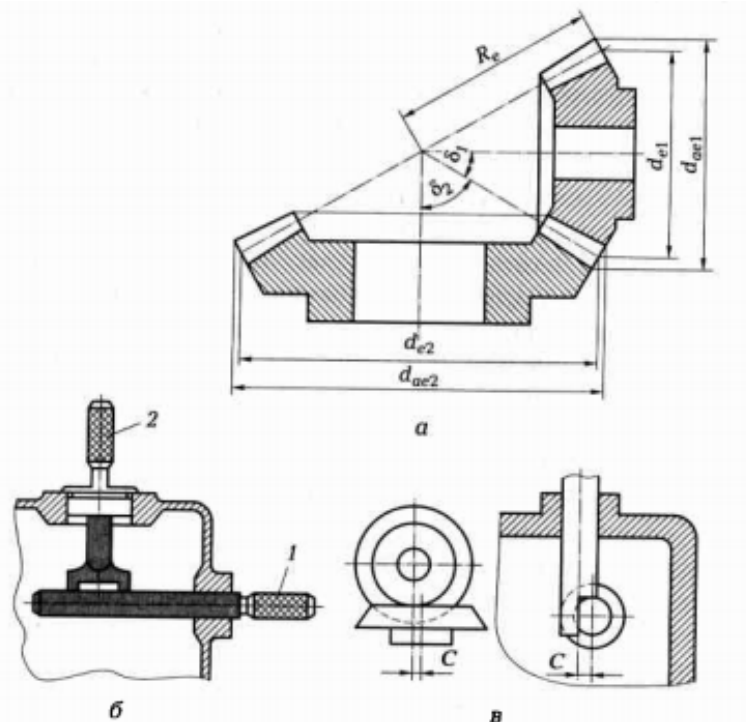


Рисунок 5.6 – Коническая зубчатая передача

Требования, предъявляемые к коническим зубчатым передачам, приемы их сборки и установки на валу такие же, как и для цилиндрических зубчатых колес.

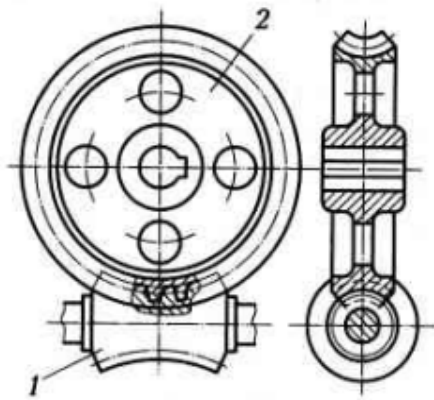
Пригонку колес целесообразно вести так, чтобы зубья соприкасались рабочей поверхностью ближе к тонким концам, поскольку тонкая сторона быстрее прирабатывается и при нагружении вследствие деформации тонкого конца зубьев быстрее достигается их прилегание на всей длине.

Перед установкой зубчатых колес проверяют межосевой угол и смещение осей. Перпендикулярность осей проверяют с помощью цилиндрической оправки 1 (рис. 5.6, б) и оправки 2, имеющей два выступа, плоскости которых перпендикулярны оси. Щупом замеряют зазор между выступами. Совмещение осей проверяют оправками, аналогичными оправкам 1 и 2 со срезанными до половины концами (рис. 5.6, в). При совмещении оправок щупом замеряют зазор C между ними.

Напрессованные колеса проверяют на биение венца, монтируют передачу и добиваются совпадения воображаемых вершин конусов. Предварительную установку осуществляют по торцам колес. Зацепление регулируют смещением зубчатых колес в осевом направлении, пока не получатся одинаковые боковой C_n и радиальный C_δ зазоры по всей окружности. Смещать можно или одно колесо, или оба. Найденное правильное положение колес фиксируют набором прокладок или регулировочными кольцами, закладываемыми между торцом колеса и уступом вала. При наличии радиально-упорных подшипников с регулировочными прокладками зацепление регулируют смещением вала вместе с колесом. Чтобы не нарушить при этом зазоры в подшипниках, для смещения колес вынимают прокладки из-под одного подшипника и перекладывают их к противоположному подшипнику.

Правильность зацепления колес проверяют «на краску». На зубья одного колеса наносят краску и прокатывают колеса. Передачу разбирают и проверяют, правильно ли установлены зубчатые колеса на валах и положение осей в корпусе. Требуемое пятно контакта в конических передачах получают приработкой с абразивными пастами, как и для цилиндрических передач.

Сборка червячных передач. По назначению червячные передачи подразделяют на кинематические и силовые передачи. По ГОСТ 3675-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические. Допуски» установлены 12 степеней точности червячных передач. Кинематические передачи, от которых требуется создание точного передаточного отношения, изготавливают 3...6-й степеней точности, силовые передачи – 5...9-й степеней точности [2, 4, 8, 9].



1 – червяк; 2 – червячное
колесо

Рисунок 5.7 – Червячная
передача

Для выполнения червячной передачей своего служебного назначения при ее изготовлении необходимо обеспечить кинематическую точность передачи, заданный боковой зазор в зацеплении червяка с червячным колесом, совпадение средней плоскости червячного колеса с осью червяка, требуемую точность скрещивания осей вращения червяка и червячного колеса (рис. 5.7). Иногда предусмотрено регулирование осевого положения червячного колеса относительно оси червяка путем изменения толщины одной из прокладок (использование неподвижного компенсатора при методе регулировки) под крышки.

При сборке червячных передач возникает необходимость регулировать зазор в подшипниках. Требуемый зазор создается перемещением наружного кольца подшипника с помощью крышки и винтов. В образовавшийся зазор должна быть вставлена прокладка соответствующей толщины.

Правильность зацепления червячного колеса с червяком проверяют «на краску». Краску наносят на винтовую поверхность червяка и, проворачивая его, получают отпечатки на зубьях червячного колеса. При правильном зацеплении червяка (контролируется правильное межосевое расстояние и перпендикулярность осей червячного колеса и червяка) краска должна покрывать не менее 50...70 % боковой поверхности зуба червячного колеса, а пятно контакта должно располагаться по обе стороны оси симметрии зуба.

Сборка резьбовых соединений. Резьбовые соединения относятся к классу неподвижных разъемных соединений. Они составляют свыше 25 % от общего числа соединений в конструкции машины. Эти простые в сборке и надежные в работе соединения позволяют производить многократную сборку и разборку соединяемых частей изделия без их повреждения. Неотъемлемой частью резьбовых соединений являются резьбовые крепеж-

ные детали, к которым относятся болты, шпильки, винты, гайки, шайбы и др. [2, 4, 8].

К резьбовым соединениям предъявляют следующие требования: отсутствие загрязнений резьбовых деталей, способных привести к заеданию, смятию или срыву резьбы при их завинчивании; отсутствие на резьбовой поверхности царапин, заусенцев, сколов и сорванных витков резьбы; определённая плотность посадки шпильки в резьбовое отверстие корпусной детали; строгая перпендикулярность оси ввинченной в корпус шпильки прилегающей плоской поверхности корпуса; резьбовые детали необходимо завинчивать с заданным усилием, чтобы стык был при необходимости герметичным, а скрепленные детали не смещались от эксплуатационных нагрузок; резьбовые детали не должны самоотвинчиваться при эксплуатации машины.

Контроль усилия затяжки резьбовых соединений является одной из основных операций при их сборке. Завинчивание резьбовых деталей с усилием меньше расчетного (заданного) усилия приводит к раскрытию стыка при эксплуатации. Завинчивание резьбовых деталей с усилием больше расчетного (заданного) усилия приводит к остаточным деформациям болта или шпильки, что также приведет к раскрытию стыка соединенных деталей при эксплуатации.

В практике машиностроения нашли широкое применение два метода контроля усилия затяжки резьбовых соединений: по крутящему моменту; по абсолютному удлинению болта или шпильки.

Контроль усилия затяжки по крутящему моменту [2]

$$M_{KP} \approx 0,2P_3d,$$

где M_{KP} – крутящий момент, прикладываемый к гайке при ее завинчивании;

P – усилие затяжки скрепляемых деталей;

d – наружный диаметр резьбы.

Следовательно, измерив крутящий момент, прикладываемый к гайке, можно определить усилие затяжки соединяемых деталей.

Контролируют при сборке крутящий момент несколькими способами: применением стандартных гаечных ключей; применением динамометрических ключей; применением предельных механизмов в сочетании с гаечными ключами.

Контроль усилия затяжки по абсолютному удлинению болта или шпильки используют при сборке особо ответственных резьбовых соединений, так как этот метод обладает высокой точностью, но требует дополнительной измерительной оснастки. Сущность метода заключается в том, что точным измерительным устройством измеряют деформацию – растяжение болта, возникающую при приложении к болту осевого растягивающего усилия при завинчивании гайки.

Сборка прессовых соединений. Соединения с гарантированным натягом относятся к неразборным механическим соединениям, так как при их разборке нарушается состояние сопрягаемых поверхностей, т. е. детали этого соединения повреждаются. При переборках изделия эти соединения не подлежат разборке [2, 4].

По способу сборки соединения с гарантированным натягом условно делятся на поперечно-прессовые и продольно-прессовые. При сборке поперечно-прессовых соединений сближение сопрягаемых поверхностей происходит по направлению, перпендикулярному этим поверхностям. При продольно-прессовых соединениях детали запрессовываются под действием сил, направленных вдоль сопрягаемых поверхностей.

При сборке *поперечно-прессовых соединений* производят нагрев охватывающей детали и (или) охлаждают охватываемую деталь. При достаточном нагреве-охлаждении сопрягаемых деталей диаметры отверстия и вала должны измениться настолько, чтобы при их соединении образовался зазор. Тогда деталь-вал свободно вставляют в отверстие сопрягаемой детали до упора во фланец, не сминая неровности на их поверхностях. Последующее охлаждение приведет к выравниванию температуры деталей. Зазор не только исчезнет, но и образуется заданный (заранее рассчитанный конструктором) натяг по поверхностям соединенных деталей. Происходит взаимное проникновение микронеровностей на поверхностях деталей при незначительном их смятии.

Необходимую температуру $t_{сб}$ нагрева детали с отверстием (охватывающей детали) можно рассчитать по следующей формуле:

$$t_{сб} = \frac{\delta + \Delta}{\alpha d} + t_0,$$

где δ – расчетный натяг в соединении;
 Δ – сборочный зазор в соединении;
 d – диаметр отверстия охватывающей детали;
 α – коэффициент линейного расширения материала охватывающей детали;

t_0 – температура окружающей среды во время сборки.

Необходимую температуру охлаждения охватываемой детали (вала) подсчитывают по аналогичной формуле. Охлаждают в основном мелкие детали типа штифтов, втулок, призонных болтов перед установкой их в крупногабаритные детали.

Для нагрева деталей используют индукторы, нагревательные печи, газовые горелки, масляные ванны и др. Охлаждают детали в жидком воздухе или в жидком азоте, сухом льде (твердая углекислота) и др. Выравнивание температуры производят в собранном состоянии, например, под прессом.

Продольно-прессовые соединения собирают без нагрева и охлаждения методом запрессовки. При этом происходит смятие неровностей по поверхностям соединяемых деталей 1 и 2 (рис. 5.8). Усилие $P_{зап}$ запрес-

совки целесообразно создавать прессом, что обеспечит плавное изменение усилия от минимального (в начальной фазе запрессовки) до максимального (в конечной стадии запрессовки) [2, 4].

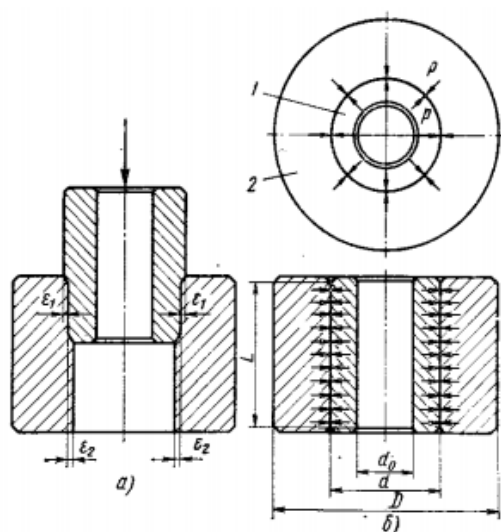


Рисунок 5.8 – Схема продольно-прессового соединения

Для исключения перекоса деталей используют различные сборочные приспособления. Оборудование для запрессовки во многом определяется конструкцией собираемого изделия и программой выпуска изделий. Небольшие детали можно запрессовать мягким молотком небольшой массы. Для запрессовки более крупных деталей применяют прессы различного действия, например, гидравлические, винтовые или эксцентриковые.

Наибольшая сила запрессовки P_3 , необходимая для сборки продольно-прессового соединения,

$$P_3 = f\pi dpL ,$$

где f – коэффициент трения при запрессовке;

d – номинальный диаметр поверхности сопряжения;

L – длина запрессовки;

p – давление на контактной поверхности.

Величину p рассчитывают по формуле

$$p = \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}},$$

где δ – расчетный натяг;

$$c_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 \text{ и } c_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2;$$

E_1 и E_2 – модули упругости материалов охватываемой и охватывающей деталей;

μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона соответственно для тех же материалов;

d_2 – диаметр наружной поверхности охватывающей детали;

d_1 – диаметр центрального отверстия охватываемой детали. Для вала без отверстия $d_1 = 0$ и $c_1 = 1 - \mu_1$.

Коэффициенты трения при запрессовке зависят от материала сопрягаемых деталей, шероховатости поверхности контакта, величины давления p , наличия смазывающего материала и характера смазывания в сопряжении.

Контролируют после запрессовки радиальное и торцевое биение, плотность прилегания деталей по торцу и другие геометрические параметры. Прочность запрессованного соединения проверяют выборочно в лабораторных условиях, доводя соединение до разрушения.

Сборка сварных соединений. Соединения деталей сваркой имеют следующие преимущества по сравнению с другими видами соединений: снижается масса изделия за счет исключения из конструкции фланцев и крепежных деталей; более надежно обеспечивается герметичность стыка соединяемых деталей; упрощается процесс сборки; повышается уровень механизации и автоматизации сборочного процесса [2, 4, 11].

Скрепляются детали сварным швом, который получается во время сварки, когда скрепляемые детали нагреваются источником теплоты до температуры плавления металла соединяемых деталей. Часто используют присадочный материал в виде прутка, который плавится и заполняет пространство между свариваемыми деталями. При охлаждении расплавленного металла происходит взаимопроникающая кристаллизация, и затвердевший металл в месте соединения деталей образует сварной шов, прочность которого близка к прочности исходного металла.

Широко применяют следующие виды сварных соединений: стыковые, угловые, тавровые, внахлест.

К сварным соединениям могут предъявляться следующие требования: высокая прочность; герметичность сварного шва; отсутствие трещин, непроваров, подрезов; отсутствие короблений скрепленных деталей.

Виды сварки во многом определяются источником теплоты для нагрева металла скрепляемых деталей. Наиболее широко применяют следующие виды сварки: газовая; электродуговая; аргонодуговая; плазменная дуговая; электронно-лучевая; лазерная; точечная; роликовая; сварка встык с оплавлением.

Для скрепления деталей из низколегированных сталей применяют дуговую сварку. Детали из меди сваривают газовой или дуговой сваркой. Детали из латуни сваривают газовой или дуговой сваркой, применяя угольные электроды. При сварке деталей из магниевых сплавов наилучший результат получается при аргонодуговой сварке со специальными флюсами. Сварку деталей из жаропрочных сплавов и сталей производят аргонодуговой сваркой.

Качество сварного шва во многом определяется тщательностью выполнения операций по подготовке деталей к сварке и правильным выбо-

ром метода сварки в зависимости от марки скрепляемых материалов. Детали перед сваркой правят и выравнивают, используя оправки, легкие мягкие молотки, для обеспечения хорошего взаимного положения кромок скрепляемых деталей. С поверхностей деталей в местах сварки удаляют ржавчину, масла, влагу, окалину и другие загрязнения, которые могут привести к дефектам сварного шва. Очистку производят механическими способами или травлением в щелочах или кислотах. Для обезжиривания поверхностей применяют бензин, ацетон или спирт. Если необходимо, то вдоль всей линии будущего сварного шва выполняются фаски определенного размера.

Непосредственно перед сваркой детали собирают и закрепляют в приспособлении для сварки (стапеле), придавая им заданное чертежом взаимное положение. Точность сборки в приспособлении во многом определяется видом сварки. Например, при аргонодуговой сварке встык деталей из листовой жаропрочной стали погрешность соединения заготовок не должна превышать 0,1 толщины свариваемого материала.

При дуговой сварке плавящемуся электроду сообщают следующие рабочие движения относительно скрепляемых деталей: поступательное движение вдоль оси электрода по мере его расплавления для поддержания постоянной длины электрической дуги; поступательное движение вдоль стыка деталей, необходимое для образования сварного шва по всей длине скрепляемых деталей; колебательное движение с небольшим размахом, необходимое для образования требуемой ширины сварного шва.

Во время сварки деталей происходит большой перепад температур из-за местного нагрева, а после их остывания появляются значительные внутренние напряжения, которые могут привести к поломкам деталей во время эксплуатации. Для снятия этих напряжений производят термообработку сварного соединения, например отжиг. При сварке жаропрочных сплавов перед сваркой производят отжиг отдельных деталей, а после сварки производят старение сварного соединения.

У свариваемых деталей может появиться остаточная деформация после их остывания. Устраняют эти дефекты правкой. Правка деталей может быть механической посредством удара или статической нагрузки, термической, которая проводится путем местного нагрева сварного соединения в определенной последовательности.

Для выявления дефектов сварного соединения применяют различные методы контроля, реализуемые в три этапа: предварительный контроль подготовленных к сварке деталей; пооперационный контроль; контроль готового сварного соединения.

Многие внешние дефекты можно обнаружить визуальным осмотром. Для обнаружения внутренних дефектов используют ультразвуковые или рентгеновские дефектоскопы. Герметичность сварного шва проверяют течеискателями или испытаниями на герметичность с помощью сжатого воздуха или жидкости под давлением.

Балансировка деталей машин. Вследствие неоднородности материала детали, погрешностей заготовки и механической обработки, а также

погрешностей сборки (в результате перекоса или смещения сопряженных деталей) появляется неуравновешенность деталей и сборочных единиц машины [4].

Различают три вида неуравновешенности: статическую – смещение центра тяжести детали (под действием силы тяжести P) относительно оси ее вращения на величину r (рис. 5.9, а); моментную – действие неуравновешенных масс металла, приведенных к паре сил Q , действующих в одной плоскости в противоположных направлениях, с плечом l (рис. 5.9, б); динамическую, при которой может быть одновременно смещение центра тяжести детали относительно оси ее вращения и действие неуравновешенных масс (рис. 5.9, в).

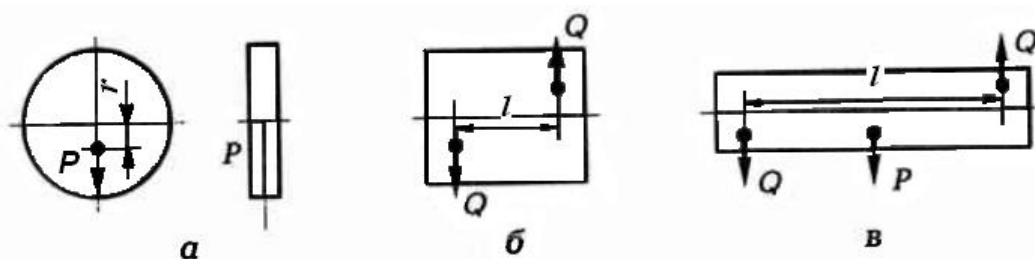


Рисунок 5.9 – Статическая (а), динамическая (б) и смешанная (в) неуравновешенность деталей

Первый вид неуравновешенности характерен для деталей небольшой длины L при значительном диаметре d , когда $L/d < 1$, а второй и третий – при отношении $L/d > 1$.

Для устранения неуравновешенности применяют балансировку, которая заключается в нахождении величины и направления неуравновешенности и компенсации этой неуравновешенности путем снятия или добавления металла в соответствующем месте детали. После балансировки не допускаются никакие виды обработки детали (за исключением в некоторых случаях полирования или суперфиниширования отдельных поверхностей).

Балансировка вращающихся деталей является ответственной технологической операцией, так как неуравновешенные массы в современных быстроходных конструкциях могут привести к вибрациям, нарушающим нормальную эксплуатацию механизма или машины.

Статическая балансировка производится следующим образом (рис. 5.10, а). Балансируемую деталь 1, надетую на специальную оправку 2, устанавливают на две горизонтальные параллельные призмы 3.

Неуравновешенность детали выявляют, прокатывая ее по указанным призмам. При совпадении центра тяжести детали с ее осью деталь будет неподвижна в любом своем угловом положении на призмах. В случае неуравновешенности (тяжелая) сторона А детали (рис. 5.10, б) будет стремиться занять наиболее низкое положение. Закрепляя груз на противоположной стороне детали, можно уравновесить деталь.

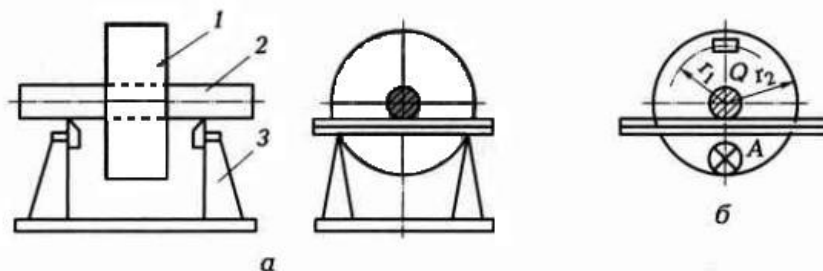


Рисунок 5.10 – Схемы статической балансировки

Вместо прикрепления груза с «легкой» стороны детали можно применить ее высверливание с более «тяжелой» стороны. Количество массы Q_1 металла, которое нужно снять с более «тяжелой» стороны на расстоянии r_1 от оси вращения, может быть определено по формуле

$$Q_1 = \frac{Qr_1}{r_2}$$

где Q – масса детали;

r_1 – величина смещения центра тяжести;

r_2 – радиус детали.

При статической балансировке иногда вместо призм применяют шлифованные стержни (при балансировке деталей с небольшой массой) или шарики (при балансировке маховиков).

Динамическая балансировка производится при вращении балансируемой детали. При такой балансировке обеспечивается совпадение оси вращения детали с главной осью инерции всей системы. Динамическая неуравновешенность вызвана неправильным распределением массы металла по длине детали. Если в детали имеются две точки сосредоточения неуравновешенных масс, расположенные по обе стороны оси вращения, центробежные силы создают пару сил Q_1 с моментом

$$M = \left(\frac{Q_1}{g}\right)r_1\omega^2l_1,$$

где g – ускорение свободного падения;

r_1 – смещение неуравновешенных масс относительно оси вращения;

ω – частота вращения;

l_1 – расстояние между точками сосредоточения неуравновешенных масс.

При этом центр тяжести детали находится на оси вращения и неуравновешенность при статической балансировке не обнаруживается.

5.6 Автоматическая сборка изделий машиностроения

Сборочное производство характеризуется сложностью и разнообразием выполняемых операций, высокой трудоемкостью и стоимостью. Трудоемкость сборочных процессов в машиностроении и приборостроении составляет 30...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 [1, 4, 6].

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.

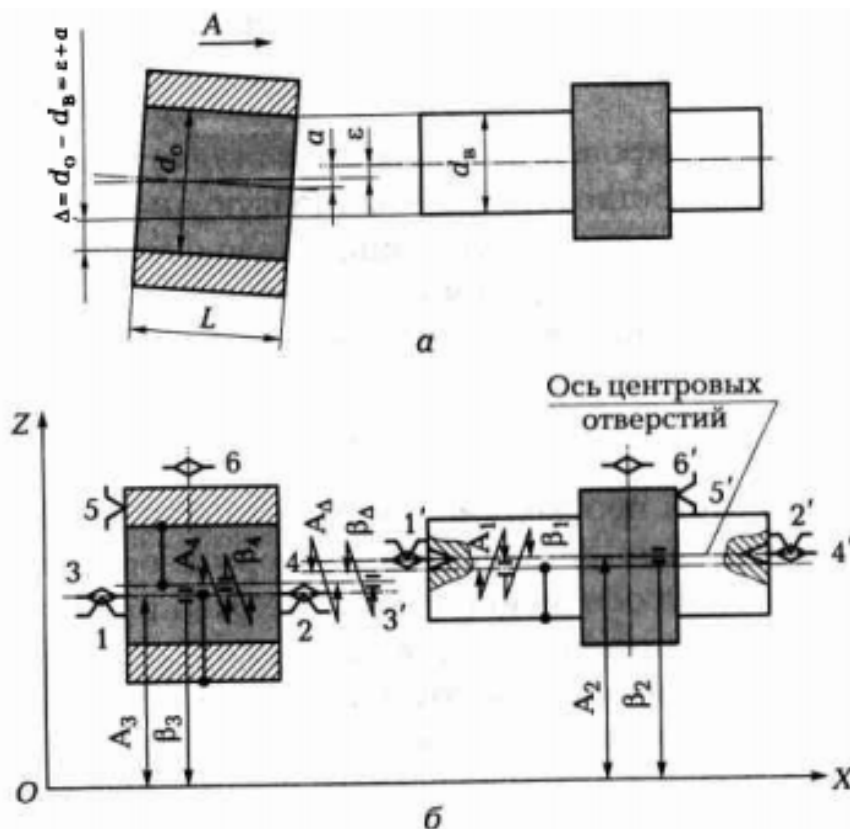
Проведение такого анализа, детальное описание процесса сборки и определение требований, которые должны быть предъявлены к автоматическим средствам, являются главными задачами технологических разработок при автоматизации процессов сборки.

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 рассмотрим соединение втулки с валом в одной плоскости, рис. 5.11, а) 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 $\Delta_{\min}$ – 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 рисунке 5.11, б, 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.



а – определение условий собираемости втулки с валом; б – базирование втулки и вала для определения размерных цепей, от которых зависит соосность отверстия во втулке и шейки вала; 1-6 – базы втулки; 1'-6' – базы вала; L – длина втулки; d_v , d_o – диаметр втулки и отверстия в ней соответственно

Рисунок 5.11 – Схемы соединения втулки с валом

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 валом это будут размерные цепи A и β , имеющие $A_\Delta = 0$, $TA_\Delta = \varepsilon_{\max} = 0$, $\Delta_{0A\Delta} = 0$ и $\beta_\Delta = 0$, $T\beta_{\Delta\max} = a_{\max}/L$, $\Delta_{0\beta\Delta} = 0$.

На примере соединения втулки с валом проанализируем физический смысл составляющих звеньев возникающих размерных цепей. Звенья A_1 , A_4 и β_1 , β_4 отражают точность базирования соединяемых деталей, которое необходимо осуществить с помощью каких-либо устройств. Звенья A_2 , A_3 и β_2 , β_3 показывают, какое положение должны занимать базирующие устройства в сборочной машине или 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 валом без зазора при ее движении только в направлении

А потребовалось бы обеспечивать абсолютную соосность отверстия во втулке с шейкой вала, 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

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

При этом необходимо учесть, что во избежание заклинивания соединяемых деталей угол поворота оси отверстия во втулке относительно оси шейки вала 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 должны обеспечивать соответствующие устройства сборочной машины или ПР.

Рассмотрим этапы базирования втулки при ее посадке на вал и действия сборочной машины. На рисунке 5.12 показаны схемы базирования только втулки.

Этап I. В исходной позиции втулку устанавливают на один из центров (до упора в торец штока привода), в которых установлен вал.

Этап II. Втулке сообщают движение вдоль оси центра, для чего геометрическую связь 5 заменяют кинематической связью А.

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

Этап IV. Для посадки на вал втулка должна повернуться вокруг точки O_2 . Для этого она должна быть сцентрирована по контуру 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 вала до совмещения оси ее отверстия с осью шейки вала.

Этап V. С момента захода втулки на вал ее базирование полностью осуществляется валом. Причем для продвижения втулки в осевом направлении геометрическая связь 5' должна быть вновь заменена кинематической связью А.

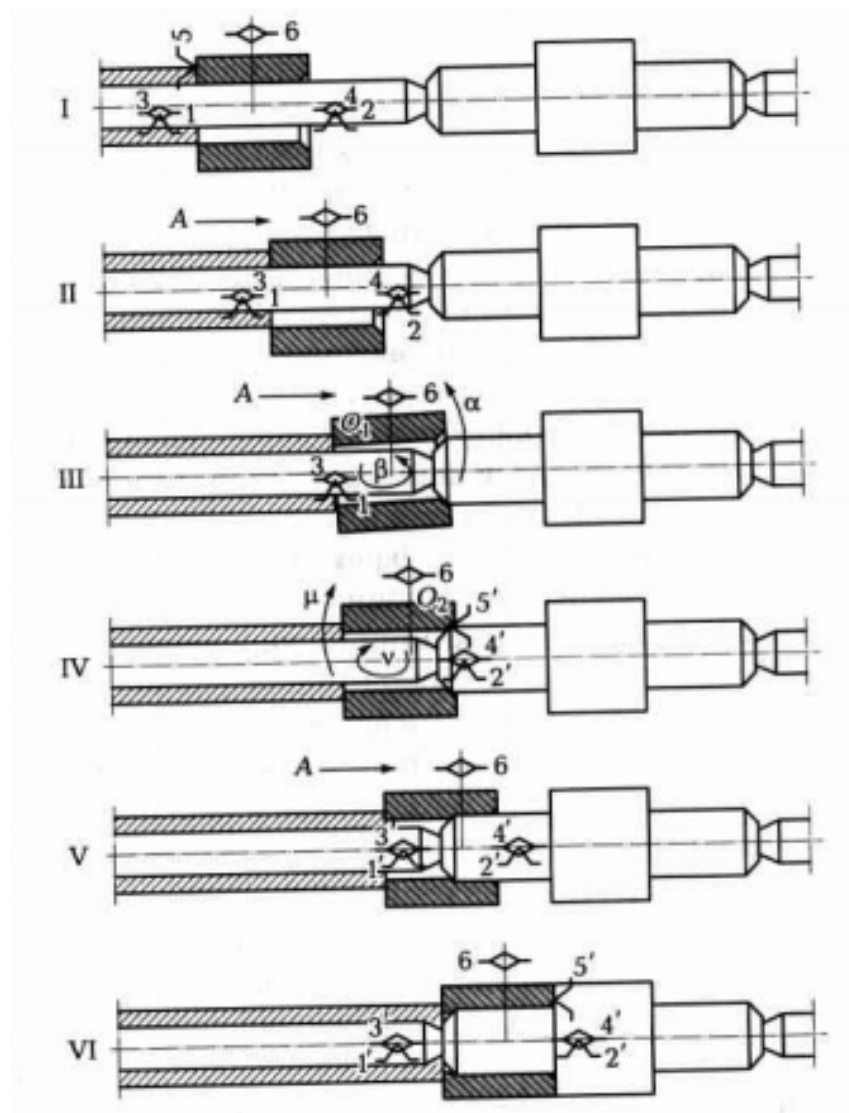


Рисунок 5.12– Этапы базирования втулки в процессе посадки на вал

Действие необходимых связей в процессе сборки обеспечивается силами, создаваемыми приводами сборочной машины или ПР, силами тяжести соединяемых деталей, возникающими силами реакции и трения. Из примера сборки втулки с валом 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. Эффективность действия таких устройств целиком зависит от глубины проникновения в физическую сущность процесса и явлений, сопутствующих процессу сборки.

Целью технологических разработок при автоматизации процесса сборки является решение следующих задач:

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

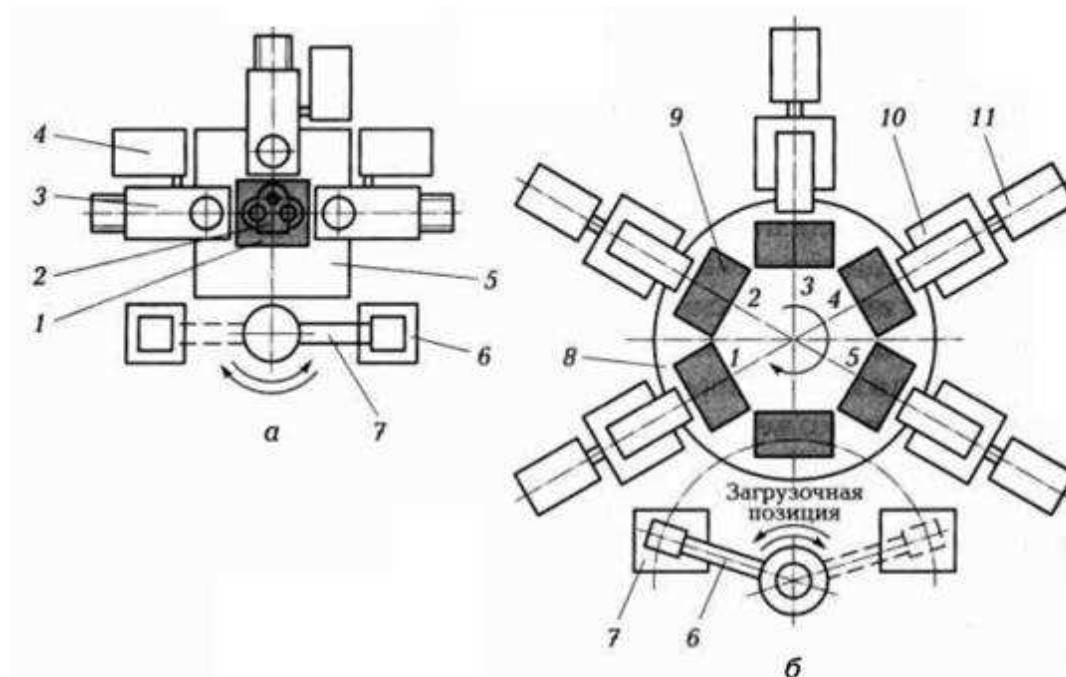
Состав автоматического сборочного оборудования определяется конструкцией изделия и технологией его сборки. В большинстве случаев автоматические сборочные машины применяют для сборки изделий одного наименования или узкой номенклатуры сходных изделий, при годовой программе выпуска 200-500 тыс. шт. и более,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

Обычно процесс сборки изделия делят на части в соответствии с членением изделия 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, контроля качества сборки, испытания и загрузки, ориентации, разгрузки.

При построении автоматического процесса сборки изделия важным является вопрос компоновки сборочного оборудования.

Применение однопозиционных сборочных машин (автоматов) сокращает объем транспортных операций, однако у такой сборочной машины число самостоятельных загрузочных, ориентирующих, питающих и собирающих устройств должно быть равно числу деталей, последовательно монтируемых в сборочную единицу (рис. 5.13, а). На загрузочной позиции такой машины в приспособление устанавливают базирующую деталь изде-

лия, которая периодически переходит вместе с приспособлением с одной позиции на другую, в каждой из которых совершаются свои сборочные операции. Приспособления обычно размещают на поворотном столе, за один оборот которого выполняется полный цикл сборки изделия. Обычно многопозиционные машины имеют не более шести-восьми рабочих позиций, что ограничивает их применение для сборки сложных изделий.



а – однопозиционная: 1 – приспособление; 2 – собираемое изделие; 3 – сборочная головка; 4 – магазинное устройство; 5 – стол сборочного автомата; 6 – стол; 7 – манипулятор; б – многопозиционная: 1–5 – рабочие позиции; 6 – манипулятор; 7 – стол; 8 – поворотный стол; 9 – приспособление; 10 – сборочная головка; 11 – магазинное устройство
Рисунок 5.13 – Схемы компоновки сборочных машин (автоматов)

Сборка сложных изделий ведется на автоматических линиях, которые могут быть составлены как из однопозиционных, так и из многопозиционных машин (рис. 5.13, б). На автоматических линиях может быть совмещена сборка отдельных сборочных единиц в целое изделие, подобное, 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 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 устройства и 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, главным преимуществом автоматической сборки с применением ПР по сравнению со сборочными машинами является возможность перестраивать их 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, на базе которых можно осуществить транспортирование деталей к месту сборки, их ориентирование, выполнение разнообразных технологических операций, контроль качества сборки и др.

Развитие робототехники идет в направлении от жесткопрограммируемых автооператоров и манипуляторов к роботам с программным управлением и адаптивным ПР.

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

Форма организации сборки с применением ПР в основном зависит от сложности изделий и может полностью 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-либо операций. Расширение возможностей сборки на одном рабочем месте дает применение «многоруких» роботов.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- 1 **Замятин, В. К.** Технология и автоматизация сборки : учебник / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1993. – 464 с.
- 2 Технология машиностроения : учебник / Л. В. Лебедев [и др.]. – М. : Академия, 2006. – 528 с. – ISBN 5-7695-2291-7.
- 3 Міжгалузеві нормативи часу на слюсарну обробку деталей і слюсарно-складальні роботи при складанні машин. Одиначне та дрібносерійне виробництво. – Краматорськ : Центр продуктивності, 2003. – 224 с.
- 4 **Новиков, М. П.** Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.
- 5 **Суслов, А. Г.** Технология машиностроения : учебник / А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2007. – 430 с. – ISBN 978-5-217-03371-3.
- 6 Технология машиностроения (специальная часть) : учебник / А. А. Гусев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
- 7 Технология машиностроения. В 2 кн. Кн. 2: Производство деталей машин : учебн. пособ. / под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш.шк., 2003. – 295 с. – ISBN 5-06-004367-2.
- 8 Технология машиностроения. В 2 т. Т. 2: Производство машин / под ред. Г. Н. Мельникова. – М. : МГТУ им. Баумана, 2001. – 640 с. – ISBN 5-7038-1285-2.
- 9 Технология машиностроения : учеб. пособ. / М. Ф. Пашкевич [и др.] ; под. ред. М. Ф. Пашкевича. – Мн. : Новое знание, 2008. – 478 с. – ISBN 978-985-475-299-0.
- 10 Типовые технологические процессы в тяжелом машиностроении : монография / Ковалевский С. В. [и др.] – Краматорск : ДГМА, 2009. – 120 с. – ISBN 978-966-379-374-0.
- 11 Технология тяжелого машиностроения / под ред. С. И. Самойлова. – М. : Машиностроение, 1967. – 596 с.
- 12 Сборка машин в тяжелом машиностроении / Б. Ф. Федоров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1971. – 312 с.

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ І СКЛАДАННЯ МАШИН

Конспект лекцій

(Російською мовою)

Укладачі: **КОВАЛЕВСЬКИЙ Сергій Вадимович,
ОНИЩУК Сергій Григорович,
БОРИСЕНКО Юрій Борисович**

За авторським редагуванням

Комп'ютерне верстання

О. М. Болкова

4/2015. Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 6,98.
Обл.-вид. арк. 7,38. Тираж 3 пр. Зам. №

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003